

SÉRIE A, N° 2165

N° D'ORDRE :

3036

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES MATHÉMATIQUES

PAR

**Georges GUIGAY**

Aide-Astronome à l'Observatoire de Marseille

**1<sup>re</sup> THÈSE** — RECHERCHES SUR LA CONSTITUTION DU COURANT D'ÉTOILES  
FILANTES DES PERSÉIDES.

**2<sup>e</sup> THÈSE** — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

**Soutenues le 25 Avril 1947 devant la Commission d'examen**

MM. ESCLANGON. . . . . *Président.*

CHAZY. . . . .  
CROZE. . . . . } *Examineurs.*

SAINT-AMAND (Cher)  
IMPRIMERIE BUSSIÈRE

1948



SÉRIE A, N° 2165

N° D'ORDRE :

3036

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES MATHÉMATIQUES

PAR

**Georges GUIGAY**

Aide-Astronome à l'Observatoire de Marseille

**1<sup>re</sup> THÈSE** — RECHERCHES SUR LA CONSTITUTION DU COURANT D'ÉTOILES  
FILANTES DES PERSÉIDES.

**2<sup>e</sup> THÈSE** — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 25 Avril 1947 devant la Commission d'examen

MM. ESCLANGON. . . . . *Président.*

CHAZY. . . . .  
CROZE. . . . . } *Examineurs.*

SAINT-AMAND (Cher)

IMPRIMERIE BUSSIÈRE

1948

# FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen..... M. J. CABANNES

## PROFESSEURS

|                              |                                                       |                               |                                                           |
|------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| L. BLARINGHEM.....           | T Botanique.                                          | M <sup>me</sup> JOLIO-CURIE . | T Physique générale et Ra-<br>dioactivité.                |
| G. JULIA.....                | T Analyse supérieure et<br>Algèbre supérieure.        | PLANTEFOL .....               | T Botanique.                                              |
| C. MAUGUIN .....             | T Minéralogie.                                        | CABANNES .....                | T Recherches physiques.                                   |
| A. DENJOY .....              | T Théorie des Fonctions.                              | GRASSÉ .....                  | T Zoologie (Évolution des<br>êtres organisés).            |
| L. LUTAUD .....              | T Géographie physique et<br>géologie dynamique.       | PREVOST .....                 | T Chimie organique.                                       |
| E. DARMOIS.....              | T Enseignement de Phy-<br>sique.                      | BOULIGAND .....               | T Application de l'analyse<br>à la Géométrie.             |
| Robert LÉVY .....            | T Physiologie comparée.                               | CHAUDRON .....                | T Chimie.                                                 |
| Henri VILLAT.....            | T Mécanique des fluides et<br>applications.           | WYART .....                   | Minéralogie.                                              |
| Ch. JACOB .....              | T Géologie.                                           | TEISSIER .....                | T Zoologie.                                               |
| P. PASCAL .....              | T Chimie générale.                                    | MANGENOT .....                | T Biologie végétale.                                      |
| M. FRÉCHET .....             | T Calcul des probabilités et<br>Physique mathématique | P. AUGER .....                | T Physique quantique et<br>relativité.                    |
| M <sup>me</sup> RAMART-LUCAS | T Chimie organique .....                              | MONNIER .....                 | Physiologie générale.                                     |
| H. BÉGHIN .....              | T Mécanique physique et<br>expérimentale.             | PIVETEAU .....                | Géologie.                                                 |
| FOCH .....                   | T Mécanique expérimentale<br>des fluides.             | ROCARD .....                  | T Physique                                                |
| PAUTHENIER.....              | T Electrotechnique géné-<br>rale.                     | H. CARTAN .....               | Calcul différentiel.                                      |
| DE BROGLIE .....             | T Théories physiques.                                 | SCHAEFFER .....               | T Physiologie des fonctions                               |
| JOB .....                    | T Chimie générale                                     | LAFFITTE .....                | Chimie (P. C. B.).                                        |
| PRENANT .....                | T Anatomie et Histologie<br>comparées.                | LERAY .....                   | Mécanique théorique des<br>fluides.                       |
| VILLEY .....                 | T Mécanique appliquée ...                             | FAVART .....                  | Calcul des probabilités<br>et Physique-Mathéma-<br>tique. |
| COMBES .....                 | T Physiologie végétale.                               | COULOMB .....                 | T Physique du globe .....                                 |
| GARNIER .....                | T Géométrie supérieure.                               | M <sup>me</sup> COUSIN .....  | Biologie animale (P.C.B.).                                |
| PÉRÈS .....                  | T Mécanique rationnelle.                              | CHRÉTIEN.....                 | Analyse et mesures chi-<br>miques.                        |
| HACKSPILL .....              | T Chimie minérale.                                    | DRACH.....                    | Evolution des êtres or-<br>ganisés.                       |
| LAUGIER .....                | T Physiologie générale ...                            | CHATELET .....                | T Arithmétique et théorie<br>des nombres.                 |
| TOUSSAINT .....              | T Technique Aéronautique.                             | EPHRUSSI .....                | T Génétique.                                              |
| M. CURIE .....               | T Physique (P. C. B.).                                | WURMSER .....                 | T Biologie physico-chi-<br>mique.                         |
| G. RIBAUD .....              | T Hautes températures.                                | KASTLER .....                 | Physique.                                                 |
| CHAZY .....                  | T Mécanique analytique.                               | BAUER .....                   | T Chimie-Physique.                                        |
| H. GAULT .....               | T Chimie appliquée.                                   | RIVIÈRE .....                 | Géologie (P. C. B.).                                      |
| CROZE .....                  | T Physique théorique et<br>physique céleste.          | GAUTHERET .....               | Biologie Végétale (P. C.<br>B.).                          |
| DUPONT.....                  | T Théories chimiques.                                 | LUCAS .....                   | Physique                                                  |
| LANQUINE .....               | T Géologie structurale et<br>géologie appliquée ...   | MAX MORAND .....              | Physique.                                                 |
| VALIRON .....                | T Calcul différentiel et Cal-<br>cul intégral.        | ARNULF .....                  | Optique appliquée.                                        |
| BARRABÉ.....                 | Géologie structurale et<br>géologie appliquée.        | A. THOMAS .....               | Zoologie.                                                 |
| VAVON .....                  | T Analyse et mesures chi-<br>miques.                  | SOLEILLET .....               | Physique.                                                 |
| G. DARMOIS .....             | T Mathématiques géné-<br>rales.                       | FORSTER .....                 | Mécanique expérimentale<br>des fluides.                   |
| CHATTON .....                | T Biologie maritime.                                  | DANJON .....                  | T Astronomie.                                             |
| AUBEL .....                  | T Chimie biologique.                                  | FROMAGEOT .....               | Chimie Biologique.                                        |
| Jacques BOURCART...          | Géographie physique et<br>Géologie dynamique.         | LAPORTE .....                 | Physique générale et<br>Radio-activité.                   |

Secrétaire ..... Ch. MONIER



A MA FEMME

A mes enfants

A mes parents

A. M. J. BOSLÈR

Directeur de l'Observatoire de Marseille

*hommage respectueux.*



# PREMIÈRE THÈSE

## RECHERCHES SUR LA CONSTITUTION DU COURANT D'ÉTOILES FILANTES DES PERSÉIDES

### INTRODUCTION

1. — Les caractères essentiels des Perséides ont été mis en évidence par W. F. DENNING qui, de 30 années d'observation (1869-1899), a tiré l'éphéméride suivant <sup>(1)</sup>.

| Date       | Nombre horaire<br>des Perséides | Position du radiant |                   | Date       | Nombre horaire<br>des Perséides | Position du radiant |                   |
|------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|
|            |                                 | $\alpha$            | $\delta$          |            |                                 | $\alpha$            | $\delta$          |
| Juillet 11 | 0,2                             | 11 <sup>h</sup> 5   | 47 <sup>°</sup> 7 | Juillet 31 | 4,1                             | 33 <sup>h</sup> 2   | 54 <sup>°</sup> 1 |
| 12         | 0,2                             | 12,5                | 48,2              | Août 1     | 4,6                             | 34,4                | 54,7              |
| 13         | 0,3                             | 13,5                | 48,6              | 2          | 5,1                             | 35,5                | 55,0              |
| 14         | 0,4                             | 14,5                | 49,0              | 3          | 5,7                             | 36,7                | 55,2              |
| 15         | 0,5                             | 15,6                | 49,4              | 4          | 6,3                             | 37,9                | 55,5              |
| 16         | 0,6                             | 16,6                | 49,8              | 5          | 7,0                             | 39,0                | 55,8              |
| 17         | 0,7                             | 17,6                | 50,2              | 6          | 7,9                             | 40,2                | 56,0              |
| 18         | 0,8                             | 18,7                | 50,6              | 7          | 9,0                             | 41,4                | 56,3              |
| 19         | 1,0                             | 19,7                | 50,9              | 8          | 15,0                            | 42,6                | 56,5              |
| 20         | 1,1                             | 20,8                | 51,2              | 9          | 29,0                            | 43,8                | 56,8              |
| 21         | 1,3                             | 21,8                | 51,6              | 10         | 50,0                            | 45,0                | 57,0              |
| 22         | 1,5                             | 22,9                | 51,9              | 11         | 29,0                            | 46,3                | 57,2              |
| 23         | 1,7                             | 24,0                | 58,2              | 12         | 12,5                            | 47,5                | 57,5              |
| 24         | 2,0                             | 25,1                | 52,2              | 13         | 4,5                             | 48,8                | 57,8              |
| 25         | 2,2                             | 26,2                | 52,8              | 14         | 2,7                             | 50,1                | 58,0              |
| 26         | 2,5                             | 27,3                | 53,1              | 15         | 1,5                             | 51,3                | 58,2              |
| 27         | 2,7                             | 28,5                | 53,3              | 16         | 1,0                             | 52,6                | 58,5              |
| 28         | 3,0                             | 29,6                | 53,6              | 17         | 0,7                             | 53,9                | 58,7              |
| 29         | 3,3                             | 30,8                | 53,8              | 18         | 0,5                             | 55,2                | 58,9              |
| 30         | 3,7                             | 32,0                | 54,1              | 19         | 0,3                             | 56,6                | 59,1              |

<sup>(1)</sup> *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, vol. LIII, 1896-99, p. 210.

Si l'on transforme les coordonnées équatoriales  $\alpha$  et  $\delta$  du radiant données par DENNING en coordonnées écliptiques, on trouve.

| Dates      | $\lambda$ | $\beta$ | $\lambda - \odot$ |
|------------|-----------|---------|-------------------|
| Juillet 11 | 32,3      | 38,7    | — 77°             |
| 15         | 36,6      | 38,8    | — 76,5            |
| 20         | 41,2      | 38,6    | — 76,7            |
| 25         | 45,5      | 38,1    | — 77,5            |
| 31         | 50,8      | 38,2    | — 77,6            |
| Août 5     | 55,9      | 37,5    | — 77,2            |
| 10         | 60,7      | 38,0    | — 77,3            |
| 15]        | 65,4      | 37,6    | — 77,4            |
| 19         | 69,0      | 38,1    | — 77,6            |

Les nombres obtenus montrent deux caractères remarquables : la latitude  $\beta$  est constante ainsi que la différence  $\lambda - \odot$  entre la longitude  $\lambda$  du radiant et la longitude  $\odot$  du Soleil. On a toujours :

$$\beta \neq 38^{\circ} \quad \lambda - \odot \neq -77^{\circ}.$$

La longue durée attribuée par DENNING aux Perséides a été accueillie avec scepticisme par certains auteurs qui ont exprimé leurs doutes en se fondant sur les faibles nombres horaires des Perséides donnés par DENNING pour les dates éloignées du maximum de l'essaim. « *Un météore par heure, un météore par trois heures, écrit BREDICHINE (1), sont-ce là des nombres suffisants pour prolonger ainsi la durée d'un courant, surtout quand ces météores apparaissent, non dans un désert, mais dans une région du ciel où les météores abondent ?* » Et il conclut de son étude que les météores qui apparaissent en juillet et après le 19 août appartiennent à d'autres courants dont les radiants sont voisins de celui des Perséides. Les conceptions modernes excluent la théorie de la multiplicité des courants pour y substituer le rôle important des météores sporadiques ; mais les doutes de BREDICHINE restent fondés, car, précisément, pour ces radiants d'où n'émanent qu'un si petit nombre de météores, il est difficile de distinguer entre ceux qui correspondent à des courants réels et ceux qui ne sont que des points de convergence fortuits de météores sporadiques. Cela est si vrai que plusieurs auteurs, MALTZEV (2), ÔPIK (3), etc., ont effectué des recherches dans le but de distinguer les radiants réels de ces radiants fictifs.

Moins sceptique, OLIVIER a essayé d'utiliser les observations des membres de l'American Meteor Society, dans le but de vérifier la grande durée des Perséides. Il estime (4) que ces observations appuient les idées de DENNING pour toute la période qui s'étend du 28 juillet au 18 août, ne sont pas suffisantes pour donner une réponse pour la période du 21 au 28 juillet, et permettent une réponse négative au delà du 18 août.

2. — De son côté, CALLANDREAU (5) a essayé de donner, des caractères fondamentaux des Perséides, longue durée et invariabilité des quantités  $\lambda - \odot$  et  $\beta$ , une explication fondée sur la Mécanique Céleste. La comète 1862 III, génératrice des Perséides, peut s'approcher de la Terre jusqu'à 0,005 unité astronomique et de Saturne jusqu'à 0,75 unité astronomique. Or les sphères d'activité de ces deux planètes ont respectivement pour rayon 0,005 unité astronomique et 0,316

(1) Bulletin de la Société impériale des Naturalistes de Moscou, 1889, n° 1, p. 35.

(2) A. N., Bd. 234, S. 243, — 1928.

(3) Harvard Circular, 388, — 1934.

(4) Meteors. Baltimore, 1925, p. 232.

(5) Comptes Rendus, vol. 112, 1891, p. 1304.

unité astronomique. On pourrait alors admettre que le courant ne possédait pas, à l'origine, la largeur considérable qu'on observe aujourd'hui, mais seulement une largeur suffisante pour que certaines de ses particules passent dans les sphères d'activité des deux planètes, et, qu'au cours de nombreux passages, les météores aient été déviés, par les perturbations accumulées, sur des orbites assez différentes les unes des autres pour constituer un faisceau que la Terre traverse aujourd'hui pendant six semaines.

Si un météore passe un nombre quelconque de fois dans la sphère d'activité d'une planète, ses nouveaux éléments sont reliés à ses éléments primitifs par le critérium de TISSERAND :

$$(1) \quad \frac{1}{a} + \frac{2}{a'} \sqrt{\frac{p}{a'}} \cos i = \frac{1}{a_0} + \frac{2}{a'} \sqrt{\frac{p_0}{a'}} \cos i_0$$

$a, p, i$  désignant les nouvelles valeurs du demi-grand axe, du paramètre, et de l'inclinaison de l'orbite du météore,  $a_0, p_0, i_0$ , les anciennes valeurs de ces éléments, et  $a'$  le rayon de l'orbite supposée circulaire de la planète perturbatrice. Nous désignerons par  $J$  la quantité constante :

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{a'} \sqrt{\frac{p}{a'}} \cos i.$$

Mais les éléments de l'orbite d'un météore peuvent être reliés aux coordonnées de son radiant apparent. Soient, au moment de sa rencontre avec la Terre :

$v$ , la vitesse absolue (par rapport au Soleil) d'un météore ;

$w$ , sa vitesse par rapport à la Terre ;

$V$ , la vitesse de la Terre ;

$l$  et  $b$  la longitude et la latitude du radiant vrai ;

$\lambda$  et  $\beta$  la longitude et la latitude du radiant apparent.

Prenons un système d'unités où l'unité de longueur soit le rayon de l'orbite terrestre, supposée circulaire, et où la vitesse de la Terre soit égale à l'unité. La composition des vitesses de la Terre et du météore donne :

$$(2) \quad \begin{cases} -v \cos l \cos b = \sin \odot - w \cos \beta \cos \lambda \\ -v \sin l \cos b = -\cos \odot - w \cos \beta \sin \lambda \\ -v \sin b = -w \sin \beta, \end{cases}$$

en remarquant que le radiant vrai et le radiant apparent sont respectivement les points où la sphère céleste est percée par les directions opposées à celles de la vitesse héliocentrique et de la vitesse géocentrique du météore, et que la longitude de l'apex terrestre (point vers lequel se dirige la Terre) est égale à  $\odot - 90^\circ$ .

D'autre part, les vitesses du météore et de la Terre sont données par les formules

$$(3) \quad \begin{cases} v^2 = k^2 \left( 2 - \frac{1}{a} \right) \\ V^2 = k^2 \end{cases}$$

et, puisque

$$V = 1, \quad k = 1, \quad v^2 = 2 - \frac{1}{a} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{a} = 2 - v^2.$$

En élevant au carré les équations (2) et en ajoutant, il vient :

$$(4) \quad v^2 = 1 + w^2 + 2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$$

d'où

$$(5) \quad \frac{1}{a} = 1 - w^2 - 2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$$

La constante des aires dans le mouvement du météore est  $\sqrt{p}$  et les projections de sa vitesse aréolaire sur 3 axes issus du Soleil et dirigés respectivement vers le point vernal, la direction perpendiculaire dans l'écliptique et la direction directement perpendiculaire (fig. 1) sont :

$$\sqrt{p} \sin i \sin \odot \quad - \sqrt{p} \sin i \cos \odot \quad \sqrt{p} \cos i.$$

Ces composantes sont celles du produit vectoriel  $\vec{SM} \wedge \vec{MM'}$ , M étant le point de rencontre du météore et de la Terre (au nœud descendant puisque  $\beta$  est positif), et  $\vec{MM'}$  le vecteur vitesse du météore. Les composantes de  $\vec{SM}$  sont :

$$-\cos \odot \quad -\sin \odot \quad 0,$$

et celles de  $\vec{MM'}$

$$-v \cos l \cos b \quad -v \sin l \cos b \quad -v \sin b,$$

d'où les trois équations :

$$\begin{aligned} \sqrt{p} \sin i \sin \odot &= v \sin b \sin \odot \\ -\sqrt{p} \sin i \cos \odot &= -v \sin b \cos \odot \\ \sqrt{p} \cos i &= v \cos b \sin (l - \odot) \end{aligned}$$

qui se réduisent aux deux suivantes :

$$(6) \quad \begin{cases} \sqrt{p} \sin i = v \sin b \\ \sqrt{p} \cos i = v \cos b \sin (l - \odot) \end{cases}$$

Mais les deux premières équations (2) donnent :

$$v \cos b \sin (l - \odot) = 1 + w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$$

d'où

$$(7) \quad \begin{cases} \sqrt{p} \cos i = 1 + w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) \\ \sqrt{p} \sin i = w \sin \beta, \end{cases}$$

et en élevant au carré :

$$\begin{aligned} p \cos^2 i &= 1 + 2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) + w^2 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) \\ p \sin^2 i &= w^2 \sin^2 \beta, \end{aligned}$$

d'où :

$$(8) \quad w^2 [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] + 2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) + 1 - p = 0$$

Si l'on porte dans l'expression de J les valeurs de  $\frac{1}{a}$  et de  $\sqrt{p} \cos i$  données par

l'équation (5) et la première équation (7) on obtient :

$$J = 1 - w^2 - 2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) + \frac{2}{a^{3/2}} [1 + w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)]$$

ou

$$(9) \quad w^2 + 2 \left( 1 - \frac{1}{a^{3/2}} \right) w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) + J - 1 - \frac{2}{a^{3/2}} = 0$$

Éliminons  $w$  entre les équations (8) et (9). Pour cela éliminons d'abord les termes en  $w$  entre ces deux équations, il vient :

$$(10) \quad w^2 = \frac{(1 - p) \left( 1 - \frac{1}{a^{3/2}} \right) - \left( J - 1 - \frac{2}{a^{3/2}} \right)}{1 - \left( 1 - \frac{1}{a^{3/2}} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)]}$$

Éliminons ensuite les termes en  $w^2$ , il vient :

$$(11) \quad 2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) = \frac{1 - p - \left( J - 1 - \frac{2}{a^{3/2}} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)]}{\left( 1 - \frac{1}{a^{3/2}} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] - 1}$$

Si l'on égale les deux valeurs de  $4w^2 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)$  trouvées en multipliant l'équation (10) par  $4 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)$  d'une part, et en élevant au carré l'équation (11) d'autre part, il vient :

$$\left\{ 1 - p - \left( J - 1 - \frac{2}{a'^{3/2}} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] \right\}^2 - 4 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) \left[ \left( 1 - p \right) \left( 1 - \frac{1}{a'^{3/2}} \right) - \left( J - 1 - \frac{2}{a'^{3/2}} \right) \right] \cdot \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{1}{a'^{3/2}} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] \right\} = 0$$

ou

$$(12) \quad \left\{ \left( 1 + \frac{2}{a'^{3/2}} - J \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] + 1 - p \right\}^2 - 4 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) \cdot \left[ 1 + \frac{2}{a'^{3/2}} - J + (1 - p) \left( 1 - \frac{1}{a'^{3/2}} \right) \right] \cdot \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{1}{a'^{3/2}} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] \right\} = 0.$$

Telle est l'équation donnée par CALLANDREAU sans démonstration dans les *Comptes Rendus*, vol. 112, p. 1304. Cet auteur ajoute : « d'après les observations récentes de M. Denning, le radiant des Perséides se déplace vers l'est pendant la période d'activité, fait indiqué comme probable par Le Verrier dès 1871. Cela est conforme à l'équation de condition (1) qui exige que, si  $\beta$  varie peu, il en soit de même de  $\lambda - \odot$  ».

Si l'on s'abstient de chercher la cause de l'invariabilité de  $\beta$ , l'équation ci-dessus paraît, en effet, justifier l'invariabilité de  $\lambda - \odot$ . Dans son ouvrage « *Meteors* » (2), Ch. P. OLIVIER, après avoir mentionné l'équation (12) déclare qu'elle n'a été utilisée qu'une seule fois par son auteur « qui prouva que le mouvement du radiant pendant six semaines était bien représenté par cette formule ».

3. — *Etude de l'application aux Perséides de l'équation de Callandreau.* — Dans l'équation (12) figurent, à côté des coordonnées  $\beta$  et  $\lambda - \odot$  du radiant, non seulement, des quantités  $a'$  et  $J$  qui ne dépendent que de la planète perturbatrice et de l'orbite primitive (qui peut être celle de la comète génératrice), mais aussi le paramètre  $p$  de l'orbite perturbée du météore. Or ce paramètre est inconnu et rien ne permet, *a priori*, de supposer qu'il est constant. S'il ne l'est pas,  $\lambda - \odot$  est défini par l'équation (12) en fonction de deux inconnues  $\beta$  et  $p$ , et à toute valeur de  $\beta$  on peut faire correspondre à volonté n'importe quelle valeur de  $\lambda - \odot$  pourvu qu'on attribue à  $p$  la valeur convenable.

La formule de CALLANDREAU ne concernant que l'action d'une seule planète perturbatrice, nous allons l'appliquer successivement à l'action de Saturne et à l'action de la Terre. Dans le cas de Saturne, ainsi que le mentionne SCHULHOF (3), l'invariabilité de  $p$  s'explique, car, pour être observés, les météores doivent aussi rencontrer l'orbite terrestre. Soient, en effet,  $r$  et  $R$ , les rayons des orbites de Saturne et de la Terre, supposées circulaires. La première de ces orbites est rencontrée par un météore à son nœud ascendant et l'anomalie vraie sur l'orbite du météore est égale à l'argument de latitude de son périhélie  $\omega$  changé de signe. Lors de sa rencontre avec la Terre, au nœud descendant, cette anomalie est  $\pi - \omega$ . On a donc les deux équations

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \omega} \quad \text{ou} \quad 1 + e \cos \omega = \frac{p}{r}$$

$$R = \frac{p}{1 - e \cos \omega} \quad \text{ou} \quad 1 - e \cos \omega = \frac{p}{R}$$

d'où

$$p = \frac{2Rr}{R + r}.$$

Si l'on adopte  $R = 1$  et  $r = 9,55473$ , on obtient  $p = 1,81050$ .

(1) L'équation (12).

(2) *Meteors*. Baltimore. Williams and Wilkins, 1925, p. 207.

(3) *Bulletin astronomique*, t. XI, 1894, p. 421.

D'autre part, puisque l'on admet que la comète 1862 III et les météores suivaient primitivement la même orbite dont ils ont été différemment déviés par les perturbations de Saturne, on peut calculer  $J$  par la formule :

$$J = \frac{1}{a_1} + \frac{2}{a'} \sqrt{\frac{p_1}{a'}} \cos i_1$$

où  $a_1$ ,  $i_1$  et  $p_1$  sont le demi-grand axe, l'inclinaison, et le paramètre de l'orbite de la comète, égaux respectivement à 24,2799, 113°34'9" et 1,88711, d'après l'orbite de Hayn (1). On trouve ainsi  $J = 0,00399$ .

Si l'on pose :

$$(13) \quad \begin{cases} 1 + \frac{2}{a'^{3/2}} - J = d & 1 - p = b & 1 - \frac{1}{a'^{3/2}} = c \\ \sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) = X, \end{cases}$$

l'équation (12) s'écrit :

$$(dX + b)^2 - 4(X - \sin^2 \beta)(1 - cX)(d + bc) = 0$$

ou

$$(14) \quad [d^2 + 4c(d + bc)]X^2 + 2[d \cdot b - 2(d + bc) - 2c(d + bc) \sin^2 \beta]X + b^2 + 4(d + bc) \sin^2 \beta = 0.$$

En remplaçant dans les équations (13)  $a'$ ,  $p$  et  $J$  par leurs valeurs  $a' = r = 9,55475$ ,  $p = 1,81050$  et  $J = 0,00399$ , on obtient :

$$d = 1,06373 \quad b = -0,81050 \quad c = 0,96614,$$

et l'équation (14) s'écrit :

$$(15) \quad 2,2162 X^2 - (2,8470 + 1,0847 \sin^2 \beta)X + 0,6569 + 1,1227 \sin^2 \beta = 0$$

Cette équation détermine  $X$ , et par suite,  $\lambda - \odot$ , pour toute valeur donnée de  $\beta$ . Mais les conditions de réalité des racines et la condition  $0 \leq \sin^2 (\lambda - \odot) \leq 1$  imposent à  $\beta$  de rester dans certaines limites. Si ces limites étaient assez étroites pour que  $\beta$  puisse paraître constant aux erreurs d'observation près, l'invariabilité observée de  $\beta$  serait expliquée.

Le discriminant de l'équation (15),

$$\Delta = 1,1766 \sin^4 \beta - 3,7762 \sin^2 \beta + 2,2821$$

a deux racines 0,8075 et 2,4019. Par suite l'équation (15) n'a des racines que si  $\sin^2 \beta$  est inférieur à 0,8075 ou

$$\sin \beta < 0,8986$$

ou

$$\beta < 63^\circ 58',$$

en ne tenant compte que des valeurs positives de  $\beta$ , les valeurs négatives ne satisfaisant pas la 2<sup>e</sup> équation (7) mais l'équation

$$-\sqrt{p} \sin i = w \sin \beta.$$

La condition  $\sin^2 (\lambda - \odot) \leq 1$  s'écrit :

$$\frac{X - \sin^2 \beta}{\cos^2 \beta} \leq 1$$

d'après la quatrième équation (13), ou encore :

$$X - \sin^2 \beta \leq \cos^2 \beta \quad \text{ou} \quad X \leq 1.$$

Si l'on fait  $X = 1$  dans l'équation (15) on trouve

$$f(1) = 0,0261 + 0,0380 \sin^2 \beta,$$

quantité positive quel que soit  $\beta$ . Si, donc, l'équation (15) a des racines, 1 est toujours extérieur à celles-ci. Or la demi-somme des racines est :

$$\frac{2,8470 + 1,0847 \sin^2 \beta}{2 \times 2,2162}$$

(1) Galle, *Cometenbahnen*, p. 94-95. — Nous donnons ci-dessous ces éléments.

1862 III     $\omega = 152^\circ 45' 29''$      $a = 137^\circ 27' 14''$      $i = 113^\circ 34' 9''$      $\log q = 1,983463$      $e = 0,960353$     1862,0

quantité qui est toujours inférieure à 1. Donc, quel que soit  $\beta$  on a :

$$X'' < X' < 1,$$

et la condition  $\sin^2(\lambda - \odot) \leq 1$  est satisfaite pour les deux racines.

La condition  $\sin^2(\lambda - \odot) \geq 0$  s'écrit :

$$\frac{X - \sin^2 \beta}{\cos^2 \beta} \geq 0$$

ou

$$X \geq \sin^2 \beta.$$

Si, dans l'équation (15), on fait  $X = \sin^2 \beta$ , on obtient :

$$(16) \quad f(\sin^2 \beta) = 1,1315 \sin^4 \beta - 1,7243 \sin^2 \beta + 0,6569$$

Le trinôme (16) a deux racines :  $\sin^2 \beta = 0,7580$  et  $\sin^2 \beta = 0,7658$ . Si  $\sin^2 \beta$  est compris entre ces valeurs  $f(\sin^2 \beta)$  est négatif et, par suite,  $\sin^2 \beta$  est compris entre les racines de l'équation (15). On a :  $X'' < \sin^2 \beta < X'$ .

Si, au contraire,  $\sin^2 \beta$  est extérieur aux racines 0,7580 ( $\beta = 49^\circ 17'$ ) et 0,7658 ( $\beta = 49^\circ 59'$ ),  $f(\sin^2 \beta)$  est positif et  $\sin^2 \beta$  est extérieur aux racines de l'équation (15). On a  $X'' < X' < \sin^2 \beta$  ou  $\sin^2 \beta < X'' < X'$  ; mais on doit avoir  $\sin^2 \beta < X$ , ce qui est réalisé si l'on a  $\sin^2 \beta < \frac{X'' + X'}{2}$ , ou

$$\frac{2,8470 + 1,0847 \sin^2 \beta}{4,4324} > \sin^2 \beta$$

ou

$$\sin^2 \beta < \frac{2,8470}{3,3477}$$

ou

$$\beta < 67^\circ 14'$$

condition qui est toujours vérifiée puisque l'équation (15) n'a des racines que si  $\beta$  est inférieur à  $63^\circ 58'$ .

Le tableau suivant résume la discussion.

| $\beta$                            | 0                         | $49^\circ 17'$            | $49^\circ 59'$            | $63^\circ 58'$ |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| $\Delta$                           | +                         | +                         | +                         | -              |
| Condition<br>$X \leq 1$            | $X'' < X' < 1$            | $X'' < X' < 1$            | $X'' < X' < 1$            |                |
| Condition<br>$X \geq \sin^2 \beta$ | $\sin^2 \beta < X'' < X'$ | $X'' < \sin^2 \beta < X'$ | $\sin^2 \beta < X'' < X'$ |                |

On voit que, pourvu que  $\beta$  soit inférieur à  $63^\circ 58'$ , il y a toujours au moins une racine,  $X'$ , qui remplit toutes les conditions, l'autre racine ne cessant de les satisfaire que dans un intervalle très peu étendu, entre  $\beta = 49^\circ 17'$  et  $\beta = 49^\circ 59'$ . Il en résulte que la discussion de l'équation de Callandreaux, dans le cas d'une dispersion du courant par des passages répétés dans la sphère d'activité de Saturne, n'introduit pas de limitation étroite à la variation de  $\beta$ , et, par suite, ne justifie pas les caractères essentiels des Perséides <sup>(1)</sup>.

(1) Dans la démonstration de l'équation (12) nous avons élevé au carré les équations (7) et l'équation (11). Il peut donc s'introduire des solutions étrangères qui sont solutions des équations

$$(7') \quad \begin{cases} -\sqrt{p} \cos i = 1 + w \cos \beta \sin(\lambda - \odot) \\ -\sqrt{p} \sin i = w \sin \beta \end{cases}$$

et :

$$(11') \quad -2w \cos \beta \sin(\lambda - \odot) = \frac{1 - p - \left( J - 1 - \frac{2}{a'^3/2} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2(\lambda - \odot)]}{\left( 1 - \frac{1}{a'^3/2} \right) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2(\lambda - \odot)] - 1}$$

La nécessité de satisfaire la deuxième équation (7) et non pas la deuxième équation (7') nous a déjà amenés à éliminer les valeurs négatives

4. — Dans le cas où les météores du courant auraient été déviés de leur orbite primitive par l'action de la Terre, la formule (12) se simplifie et s'écrit :

$$(17) \quad \{ (3 - J) [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] + 1 - p \}^2 - 4 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) \cdot (3 - J) = 0,$$

puisque  $a' = 1$ .

La quantité  $J$  est celle qui correspond à l'orbite de la comète 1862 III perturbée par la Terre, donc

$$J = \frac{1}{a_1} + 2\sqrt{p_1} \cos i_1 = -1,0574.$$

Mais nous n'avons plus maintenant de raison théorique de supposer  $p$  constant. Si nous le supposons cependant, nous pouvons lui attribuer la valeur  $p = 1,88711$  qui est le paramètre de l'orbite de la comète 1862 III. L'équation (17) s'écrit :

$$\{ 4,0574 [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] - 0,8871 \}^2 - 4 \times 4,0574 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) = 0$$

ou

$$(4,0574 X - 0,8871)^2 - 16,2296(X - \sin^2 \beta) = 0$$

ou

$$(18) \quad 16,4625 X^2 - 23,4282 X + 0,7869 + 16,2296 \sin^2 \beta = 0$$

Le discriminant de cette équation s'écrit :

$$\Delta = 11,7141^2 - 16,4625(0,7869 + 16,2296 \sin^2 \beta) = 124,2658 - 267,1798 \sin^2 \beta$$

et l'équation (18) n'a des racines que si :

$$\sin^2 \beta < \frac{124,2658}{267,1798} \quad \text{ou} \quad \sin^2 \beta < 0,4651 \quad \text{c'est-à-dire si} \quad \beta < 43^{\circ}0'$$

en ne considérant que les valeurs positives de  $\beta$  pour la raison indiquée au paragraphe 3.

La condition  $\sin^2 (\lambda - \odot) \leq 1$  ou  $X \leq 1$  s'examine en posant  $X = 1$  dans l'équation (18), ce qui donne :

$$f(1) = -6,1788 + 16,2296 \sin^2 \beta$$

$f(1)$  est positif si l'on a

$$\sin^2 \beta > \frac{6,1788}{16,2296} \quad \text{ou} \quad \beta > 38^{\circ}6'$$

Dans ce cas le trinôme qui constitue le premier membre de l'équation (18) est du signe de son premier terme et, s'il a des racines  $X'$  et  $X''$ , 1 est extérieur à ces racines. La demi-somme de ces racines est  $\frac{23,4282}{2 \times 16,4625}$ , nombre inférieur à 1. On a donc  $X'' < X' < 1$ . Dans le cas de  $\beta < 38^{\circ}6'$  on a, au contraire,  $X'' < 1 < X'$ .

La condition  $\sin^2 (\lambda - \odot) \geq 0$  ou  $\frac{X - \sin^2 \beta}{\cos^2 \beta} \geq 0$  ou  $X \geq \sin^2 \beta$  peut être examinée en posant dans l'équation (18)  $X = \sin^2 \beta$ , ce qui donne :

$$f(\sin^2 \beta) = 16,4625 \sin^4 \beta - 7,1986 \sin^2 \beta + 0,7869$$

de  $\beta$ . Mais il est facile de voir que des considérations analogues n'amènent pas de nouvelles limitations de  $\beta$ . En effet, les équations (10) et (11) définissent  $w^2$  et  $2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$  comme des fonctions de  $X$ . Si l'on porte ces valeurs de  $w^2$  et  $2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$  dans l'équation (5) on trouve  $\frac{1}{a}$  défini également comme fonction de  $X$ , et il en est de même grâce à l'équation

$$\frac{1}{a} = \frac{2}{a'^{3/2}} \sqrt{p} \cos i = J$$

de  $\sqrt{p} \cos i$ . La première équation (7) s'écrit alors

$$F(X) = 1 + w \cos \beta \sin (\lambda - \odot).$$

Par suite, pour toute valeur de  $\beta$  inférieure à  $63^{\circ}58'$ , l'équation (15) donnera au moins une valeur de  $X$ , et l'équation ci-dessus une valeur de  $\lambda - \odot$  qui satisfait bien aux équations (7) et (11).

dont les racines sont 0,2171 et 0,2201 auxquelles correspondent  $\beta = 27^{\circ}46'$  et  $\beta = 27^{\circ}59'$ . Si l'on a :

$$27^{\circ}46' < \beta < 27^{\circ}59'$$

$f(\sin^2 \beta)$  est négatif, il est donc du signe contraire au premier terme du trinôme de l'équation (18) et, si cette équation a des racines,  $\sin^2 \beta$  est compris entre elles.

Si l'on a, par contre,  $\beta < 27^{\circ}46'$  ou  $\beta > 27^{\circ}59'$ ,  $f(\sin^2 \beta)$  est du signe du premier terme du trinôme (18), et si le trinôme a des racines,  $\sin^2 \beta$  leur est extérieur. La demi-somme des racines est :  $\frac{23,4282}{2 \times 16,4625} = 0,7115$ ; mais puisque ces racines n'existent que si  $\sin^2 \beta$  est moindre que 0,4651, on a  $\sin^2 \beta < X'' < X'$ .

Finalement la discussion peut être résumée dans le tableau suivant :

| $\beta$                         | $0^{\circ}$               | $27^{\circ}46'$              | $27^{\circ}59'$           | $38^{\circ}6'$                  | $43^{\circ}$ |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------|
|                                 | +                         | +                            | +                         | +                               | 0 -          |
| Condition<br>$X < 1$            | $X'' < 1 < X'$            | $X'' < 1 < X'$               | $X'' < 1 < X'$            | $X'' < X' < 1$                  |              |
| Condition<br>$X > \sin^2 \beta$ | $\sin^2 \beta < X'' < X'$ | $X'' < \sin^2 \beta < X'$    | $\sin^2 \beta < X'' < X'$ | $\sin^2 \beta < X'' < X'$       |              |
| Conclusion                      | $X''$ convient            | aucune racine<br>ne convient | $X''$ convient            | les deux racines<br>conviennent |              |

Or il est facile de voir que c'est la racine  $X'$  qui donne une valeur de  $\lambda - \odot$  voisine de la valeur observée. En effet, si l'on pose  $\beta = 38^{\circ}30'$ , on trouve :

$$X'' = 0,4350 \quad X' = 0,9882.$$

Pour déduire de ces nombres les valeurs correspondantes de  $\lambda - \odot$ , on doit remarquer que l'équation (11) s'écrit ici :

$$2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) = p - 1 - (3 - J)X = 0,8871 - 4,0574X.$$

Le second membre de cette équation étant négatif pour  $X = X'$  et  $X = X''$ ,  $\lambda - \odot$  doit être pris avec le signe  $-$ , sans quoi la valeur obtenue de  $\lambda - \odot$  n'est pas racine de cette équation, mais de l'équation :

$$-2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot) = 0,8871 - 4,0574X.$$

Les valeurs de  $\lambda - \odot$  correspondant à  $X''$  et  $X'$  sont d'après la quatrième équation (13) :

$$\text{pour } X'' \quad \lambda - \odot = -16^{\circ},2$$

$$\text{pour } X' \quad \lambda - \odot = -82^{\circ},1$$

C'est donc la racine  $X'$  (1) qui nous donne une valeur de  $\lambda - \odot$  voisine de la valeur observée  $-77^{\circ}$ .

(1) Il est facile de voir qu'à la racine  $X''$  ne correspondraient jamais, quel que soit  $\beta$ , que des trajectoires hyperboliques. En effet l'équation (20) :

$$\frac{1}{a} = -3,0574 - 4,0286 \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$$

montre qu'on ne peut avoir des ellipses que si

$$-3,0574 - 4,0286 \cos \beta \sin (\lambda - \odot) > 0$$

ou

$$-0,760 > \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$$

ou

$$\cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) > 0,760^2$$

c'est-à-dire, puisque  $0,760^2 = 0,578$  et  $X = \sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)$ ,

$$X > 0,578 + \sin^2 \beta.$$

Mais si l'on fait, dans le 2<sup>e</sup> membre de (18),  $X = 0,578 + \sin^2 \beta$ , on obtient :

$$f(0,578 + \sin^2 \beta) = 16,463 \sin^4 \beta + 11,833 \sin^2 \beta - 7,256.$$

Or la racine  $X'$  ne convient au problème que si  $\beta$  est compris entre  $38^{\circ}6'$  et  $43^{\circ}$ . Cet intervalle est assez étroit pour que des radiants dont la latitude ne peut varier qu'entre de telles limites puissent paraître à l'observateur avoir tous la même latitude ; par là un des caractères essentiels des Perséides paraît expliqué :

Mais si, faisant varier  $\beta$  entre ces limites, on cherche les valeurs correspondantes de  $\lambda - \odot$  on trouve :

| $\beta$         | $\lambda - \odot$ | $\beta$      | $\lambda - \odot$ |
|-----------------|-------------------|--------------|-------------------|
| $38^{\circ}6'$  | $- 90^{\circ}$    | $41^{\circ}$ | $- 64^{\circ}43'$ |
| $38^{\circ}30'$ | $- 82^{\circ}3'$  | $42^{\circ}$ | $- 57^{\circ}44'$ |
| $39^{\circ}$    | $- 77^{\circ}41'$ | $43^{\circ}$ | $- 42^{\circ}7'$  |
| $40^{\circ}$    | $- 70^{\circ}58'$ |              |                   |

Les valeurs déterminées de  $\lambda - \odot$  doivent satisfaire à la première équation (7) et non pas à l'équation :

$$-\sqrt{p} \cos i = 1 + w \cos \beta \sin (\lambda - \odot).$$

Pour le vérifier, remarquons que l'équation (9) où nous devons poser  $a' = 1$  donne :

$$w^2 = 3 - J = 4,0574 \quad \text{d'où} \quad w = 2,0143.$$

D'autre part l'équation :

$$\frac{1}{a} + 2\sqrt{p} \cos i = J$$

donne :

$$(19) \quad 2\sqrt{p} \cos i = J - \frac{1}{a}.$$

Mais, d'après l'équation (5)

$$\frac{1}{a} = 1 - w^2 - 2w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$$

ou, si l'on remplace les lettres par leurs valeurs :

$$(20) \quad \frac{1}{a} = - 3,0574 - 4,0286 \cos \beta \sin (\lambda - \odot).$$

Si l'on calcule *séparément*, pour chaque valeur de  $\beta$ , les valeurs de  $2\sqrt{p} \cos i$  (par l'équation 19) et de

$$2[1 + w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)]$$

on trouve :

| $\beta$         | $\lambda - \odot$ | $\frac{1}{a}$ | $2\sqrt{p} \cos i$ | $2[1 + w \cos \beta \sin (\lambda - \odot)]$ |
|-----------------|-------------------|---------------|--------------------|----------------------------------------------|
| $38^{\circ}6'$  | $- 90^{\circ}$    | 0,1129        | $- 1,1703$         | $- 1,1703$                                   |
| $38^{\circ}30'$ | $- 82^{\circ}1'$  | 0,0649        | $- 1,1223$         | $- 1,1223$                                   |
| $39^{\circ}$    | $- 77^{\circ}41'$ | 0,0014        | $- 1,0588$         | $- 1,0588$                                   |
| $40^{\circ}$    | $- 70^{\circ}38'$ | $- 0,1400$    | $- 0,9174$         | $- 0,9170$                                   |
| $41^{\circ}$    | $- 64^{\circ}43'$ | $- 0,3082$    | $- 0,7492$         | $- 0,7492$                                   |
| $42^{\circ}$    | $- 57^{\circ}44'$ | $- 0,5259$    | $- 0,5315$         | $- 0,5315$                                   |
| $43^{\circ}$    | $- 42^{\circ}7'$  | $- 1,0815$    | $+ 0,0241$         | $+ 0,0241$                                   |

Le second membre s'annule pour une valeur négative de  $\sin^2 \beta$  et pour  $\sin^2 \beta = 0,396$  ou  $\beta = 39^{\circ}$ .

Si  $\beta$  est inférieur à  $39^{\circ}$ ,  $1/(0,578 + \sin^2 \beta)$  est négatif et  $0,578 + \sin^2 \beta$  est compris entre les racines du trinôme (18).  $X'' < 0,578 + \sin^2 \beta < X'$ . Dans ce cas, à  $X'$  correspondent des ellipses et à  $X''$  des hyperboles.

Si  $\beta$  est supérieur à  $39^{\circ}$ , on a, par contre  $X'' < X' < 0,578 + \sin^2 \beta$  ou  $0,578 + \sin^2 \beta < X'' < X'$ . Mais la demi-somme  $\frac{X'' + X'}{2}$  vaut 0,712. D'autre part, pour  $\beta > 39^{\circ}$ ,  $\sin^2 \beta$  est supérieur à 0,396 et  $0,578 + \sin^2 \beta$  à 0,974. On a donc nécessairement  $X'' < X' < 0,578 + \sin^2 \beta$ , c'est-à-dire que les 2 racines donnent des hyperboles.

On voit donc, que, quel que soit  $\beta$ , la racine  $X''$  correspond toujours à des orbites hyperboliques.

On voit que les résultats sont bien du même signe et que la condition est vérifiée.

Mais l'examen des valeurs de  $\frac{1}{a}$  montre un nouveau résultat important. Entre  $\beta = 39^\circ$  et  $\beta = 40^\circ$  (on trouve par représentation graphique pour  $\beta = 39^\circ 1'$  environ),  $a$  change de signe et l'orbite devient hyperbolique. Or, le météore ayant déjà dû passer plusieurs fois dans la sphère d'activité de la Terre, ne peut avoir une telle trajectoire. *La variation de  $\beta$  doit donc se limiter à l'intervalle compris entre  $38^\circ 6'$  et  $39^\circ 1'$ , en accord remarquable avec les observations.*

Mais les valeurs correspondantes de  $\lambda - \odot$  s'étendent encore entre  $-77^\circ 5'$  pour  $\beta = 39^\circ 1'$  et  $-90^\circ$  pour  $\beta = 38^\circ 6'$ . En outre, aucune des équations utilisées ne contenant  $\cos(\lambda - \odot)$ , mais seulement  $\sin(\lambda - \odot)$ , les valeurs supplémentaires de  $\lambda - \odot$  doivent également être admises, ce qui donne un intervalle de variation de  $\lambda - \odot$  s'étendant sur 25 degrés, de  $-77^\circ 5'$  à  $-102^\circ 5'$ .

Il en résulte que, même en supposant  $p$  constant, on ne peut, en appliquant l'équation de Callandreau, justifier les deux caractères essentiels des Perséides, invariabilité de  $\beta$  et de  $\lambda - \odot$  ; si le premier de ces caractères est justifié avec une précision remarquable, le deuxième ne l'est aucunement.

5. — Ne pouvant rendre compte des caractères essentiels des Perséides par l'action perturbatrice des deux grosses planètes au voisinage desquelles passe le courant, nous avons entrepris une nouvelle étude de celui-ci, étude qui a porté sur les points suivants :

1<sup>o</sup> Détermination de la durée des Perséides par une méthode peu sensible aux erreurs d'observation (inévitables dans l'observation visuelle des étoiles filantes) et à l'influence des météores sporadiques.

2<sup>o</sup> Détermination photographique du déplacement du radiant.

3<sup>o</sup> Étude de la structure du courant, c'est-à-dire de la disposition des orbites à l'intérieur de celui-ci ; essai d'explication de cette structure et recherche des causes possibles de la désintégration de la comète génératrice.

## CHAPITRE PREMIER

### ESSAI DE VÉRIFICATION DE LA DURÉE DES PERSÉIDES

6. — La longue durée attribuée par DENNING aux Perséides a suscité le scepticisme de plusieurs spécialistes. BRÉDICHINE pensait que les radiants observés en juillet et après le 19 août appartenaient en réalité à d'autres courants. Ch. P. OLIVIER, en se fondant sur les observations des membres de l'American Meteor Society, estime que ces observations appuient les idées de DENNING pour la période du 28 juillet au 18 août, ne sont pas suffisantes pour permettre une réponse pour la période du 21 au 27 juillet et donnent une réponse négative au delà du 18 août. En fait l'observation d'un météore comporte toujours quelque imprécision et la détermination d'un radiant une certaine interprétation de la part de l'observateur. Si donc celui-ci *cherche* des radiants, il peut facilement être victime d'autosuggestion et faire converger des traînées qui, en réalité, ne font que passer au voisinage du point considéré comme radiant. Il nous a paru, en conséquence, qu'une méthode de recherche de la durée des Perséides devait :

1° Être essentiellement différente des méthodes employées jusqu'ici et ne pas comporter de détermination de radiants.

2° Être fondée sur des observations qui n'avaient pas spécialement pour but l'étude des Perséides, mais inté-  
ressaient tous les météores, Perséides ou sporadiques.

Le principe de nos recherches est le suivant : Imaginons d'abord que tous les météores observés soient sporadiques ; leurs trajectoires pourront être assimilées à des grands cercles tracés au hasard sur la sphère céleste. Dans ce cas, si l'on considère un point de cette sphère (qui sera précisément le radiant des Perséides d'après l'éphéméride de DENNING, par exemple), on pourra calculer théoriquement la fonction de fréquence des distances  $d$  des différentes traînées prolongées à ce point. S'il n'y a, en réalité pas de Perséides, la répartition observée des distances  $d$  suivra la répartition théorique ; si, par contre, il y a des Perséides, chacune d'elles décrira une trajectoire qui passera au voisinage du point radiant et l'on observera une répartition différente dans laquelle les  $d$  faibles seront en excès. Si l'on fait cette étude pour diverses dates, on observera évidemment un fort excès de  $d$  faibles au voisinage du 10 août, époque du maximum des Perséides et un excès de moins en moins grand à mesure que l'on s'éloignera de part et d'autre de ce maximum. Quand la répartition observée suivra la répartition théorique, on dira que l'essaim des Perséides a cessé d'être actif.

7. — *Recherche de la répartition théorique des  $d$ .* — Comme il a été indiqué plus haut, les météores sont considérés ici comme de simples grands cercles jetés au hasard sur la sphère céleste, *abstraction faite du sens du mouvement sur ce grand cercle*. Cette méthode laisse évidemment de côté un caractère important des Perséides, mais on doit noter que les Perséides, si elles existent, donneront toujours des  $d$  faibles et qu'un excès de valeurs faibles de  $d$  suffira toujours à démontrer leur existence.

Considérons (fig. 2), sur la sphère céleste, le radiant R des Perséides, et soit  $\Sigma$  une calotte sphérique de rayon  $d$  et de centre R. Considérons un point quelconque A de la sphère et une petite surface autour du point A. Nous admettrons que le nombre des météores dont le point d'apparition se trouve à l'intérieur de cette surface est proportionnel à sa superficie  $dS$  et que leurs trajectoires sont uniformément distribuées en direction. Le nombre des trajectoires issues de  $dS$  et traversant  $\Sigma$  peut s'écrire :

$$(1) \quad \delta N = dS \cdot \frac{2\varphi}{\pi},$$

$\varphi$  désignant l'angle formé par le grand cercle AR avec le grand cercle AT tangent au petit cercle qui délimite  $\Sigma$ .  $\varphi$  est donné par la relation :

$$(2) \quad \sin \varphi = \frac{\sin d}{\sin x},$$

$x$  désignant la distance AR.

On remarquera que, dans l'expression (1), nous avons écrit  $dS \cdot \frac{2\varphi}{\pi}$  et non pas  $dS \cdot \frac{2\varphi}{2\pi}$ . La raison en est que les trajectoires étant considérées seules, abstraction faite du sens du mouvement, il n'est pas nécessaire de faire varier  $\varphi$  entre  $-\pi$  et  $+\pi$ , mais seulement entre  $-\frac{\pi}{2}$  et  $+\frac{\pi}{2}$ , d'où une variation totale de  $\pi$  seulement.

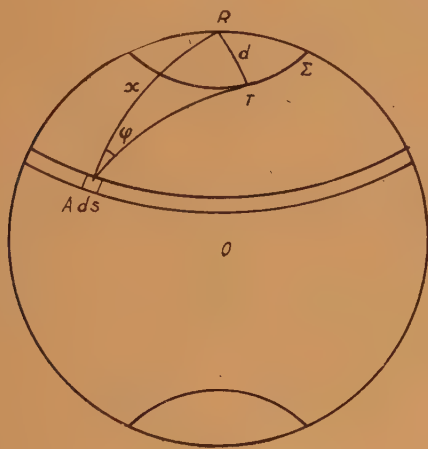


Fig. 2.

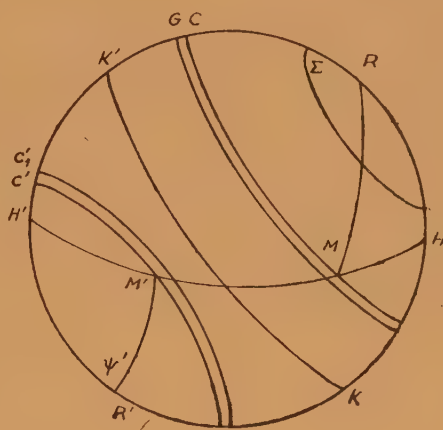


Fig. 3.

La formule (1) est valable dans le cas où A est extérieur à  $\Sigma$ . Quand A est intérieur à  $\Sigma$  ou à la calotte  $\Sigma'$  égale à  $\Sigma$  et centrée sur l'antipode R' de R, toute traînée issue de  $dS$  passe à l'intérieur de  $\Sigma$  et l'on a simplement

$$\delta N = dS.$$

Pour calculer le nombre total N de météores traversant  $\Sigma$  considérons la zone comprise entre deux petits cercles distants de R respectivement de  $x$  et de  $x + dx$ . Pour tous les points de cette zone,  $\varphi$  est le même et le nombre des météores issus de cette zone et traversant  $\Sigma$  s'écrit :

$$dN = 2\pi \sin x \cdot dx \cdot \frac{2\varphi}{\pi} = 4\varphi \sin x dx,$$

Le nombre total des météores traversant  $\Sigma$  et issus de points A compris entre les deux calottes  $\Sigma$  et  $\Sigma'$  s'écrit :

$$\int_d^{\pi-d} 4\varphi \sin x dx.$$

Nous devons ajouter à ce nombre tous ceux qui sont issus de points situés à l'intérieur des calottes  $\Sigma$  et  $\Sigma'$  et qui traversent toujours  $\Sigma$ . Leur nombre est

$$4\pi(1 - \cos d).$$

Nous avons donc :

$$N = 4\pi(1 - \cos d) + \int_d^{\pi-d} 4\varphi \sin x dx.$$

Le raisonnement précédent s'applique au cas où les trajectoires d'étoiles filantes sont réparties sur toute la sphère, alors qu'en réalité, pour qu'une étoile filante soit visible, il faut qu'une des extrémités de sa trajectoire, au moins, soit au-dessus de l'horizon.

Soient, encore, R et R' le radiant des Perséides et son antipode, soit HH' l'horizon, et soit KK' le grand cercle découpé dans la sphère par le plan passant par le centre et perpendiculaire à RR'. Considérons deux zones très étroites, symétriquement disposées par rapport à KK'. La première est délimitée par les deux cercles C et C<sub>1</sub> distants de R respectivement de  $x$  et de  $x + dx$ , et la deuxième par les deux cercles C' et C'<sub>1</sub> distants de R de  $\pi - x$  et de  $\pi - x - dx$ . Soit M le point où le cercle C franchit l'horizon et désignons par  $\Psi$  l'angle MRH. Dans le triangle sphérique rectangle MRH on a :

$$\cos \Psi = \frac{\operatorname{tg} h}{\operatorname{tg} x},$$

$h$  désignant la hauteur de R.

Le nombre  $dN_1$  de météores passant à l'intérieur de  $\Sigma$  qu'aurait fourni la partie de la zone CC<sub>1</sub> située au-dessous de l'horizon s'exprime par :

$$dN_1 = \frac{2\varphi}{\pi} \cdot 2\pi \cdot \sin x \cdot dx \cdot \frac{\Psi}{\pi} = \frac{4\varphi \cdot \Psi}{\pi} \sin x \cdot dx.$$

Désignons par M' le point où le cercle C' coupe l'horizon et appelons  $\Psi'$  l'angle H'R'M'. Nous avons :

$$\cos \Psi' = \frac{\operatorname{tg} h}{\operatorname{tg} x},$$

$$(\text{car } H'R' = HR = h \quad \text{et} \quad R'M' = RM = x)$$

d'où

$$\Psi' = \Psi.$$

Le nombre  $dN_1'$  de météores passant à l'intérieur de  $\Sigma$ , que fournit la partie de la zone C'C<sub>1</sub>' située au-dessus de l'horizon s'exprime par

$$dN_1' = \frac{2\varphi'}{\pi} \cdot 2\pi \sin x dx \cdot \frac{\Psi'}{\pi} = \frac{4\varphi' \Psi'}{\pi} \sin x dx$$

avec

$$\sin \varphi' = \frac{\sin d}{\sin (\pi - x)}$$

alors que  $\varphi$  est donné par

$$\sin \varphi = \frac{\sin d}{\sin x},$$

donc

$$\varphi = \varphi' \quad \text{et} \quad dN_1' = dN_1.$$

Si la zone CC<sub>1</sub>, tout en coupant encore l'horizon est située à l'intérieur de  $\Sigma$ , le nombre de météores traversant  $\Sigma$  et qu'aurait fourni la partie de cette zone située *au-dessous* de l'horizon s'écrit :

$$dN_2 = 2\pi \sin x dx \cdot \frac{\Psi}{\pi} = 2\Psi \sin x dx$$

et le nombre de météores fourni par la partie de C<sub>1</sub>C<sub>1</sub>' située *au-dessus* de l'horizon :

$$dN_2' = 2\pi \sin x dx \cdot \frac{\Psi'}{\pi} = 2\Psi' \sin x dx = 2\Psi \sin x dx.$$

Donc, dans tous les cas, la contribution de la partie de la zone C'C<sub>1</sub>' située *au-dessus* de l'horizon au nombre de météores passant à l'intérieur de  $\Sigma$  est égale à celle qu'aurait fourni la partie de la zone CC<sub>1</sub> située *au-dessous* de l'horizon. Puisqu'à toute zone on peut faire correspondre une zone symétrique par rapport au grand cercle KK', il en résulte que le nombre total N de météores passant à l'intérieur de  $\Sigma$  et issus de toute la partie de la sphère située au-

dessus de l'horizon est égal au nombre qu'aurait fourni l'hémisphère entier situé du côté de R et limité par KK'. Le nombre N cherché est alors :

$$N = 2\pi(1 - \cos d) + \int_d^{\pi} 4\varphi \sin x dx$$

ou, puisque N n'est défini qu'à un facteur constant près,

$$(3) \quad N = \pi(1 - \cos d) + 2 \int_d^{\pi} \varphi \sin x dx.$$

On calculera N successivement pour  $d = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots$ , puis, en retranchant la valeur de N pour  $d = 10^\circ$  de la valeur de N pour  $d = 20^\circ$ , on obtiendra le nombre de météores dont les traînées prolongées passeront à des distances de R comprises entre 10 degrés et 20 degrés. En procédant de même, on obtiendra le nombre de météores qui passent entre 20 degrés et 30 degrés, etc.

L'intégrale qui figure dans l'expression (3) a été calculée par la formule d'intégration numérique :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega} \int_a^{a+\omega} f(x) dx &= \frac{1}{2} f(a) + f(a + \omega) + f(a + 2\omega) + \dots + f(a + i\omega - \omega) + \frac{1}{2} f(a + i\omega) \\ &\quad - \frac{1}{12} \left[ f' \left( a + i\omega - \frac{\omega}{2} \right) - f' \left( a + \frac{\omega}{2} \right) \right] - \frac{1}{24} \left[ f^{(2)}(a + i\omega - \omega) + f^{(2)}(a + \omega) \right] + \dots \end{aligned}$$

Nous reproduisons à titre d'exemple, le calcul pour  $d = 10^\circ$ .

|                |                            |                                 |                  |         |
|----------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|---------|
| $d = 10^\circ$ | $\pi(1 - \cos d) = 0,047.$ |                                 |                  |         |
| $x$            | $\sin x$                   | $\varphi$                       | $\varphi \sin x$ |         |
| $10^\circ$     | 0,174                      | 1,571                           | 0,274            | — 0,091 |
| $20^\circ$     | 0,342                      | 0,535                           | 0,183            | + 0,086 |
| $30^\circ$     | 0,500                      | 0,355                           | 0,178            | — 0,005 |
| $40^\circ$     | 0,643                      | 0,274                           | 0,176            |         |
| $50^\circ$     | 0,766                      | 0,229                           | 0,175            |         |
| $60^\circ$     | 0,866                      | 0,202                           | 0,175            |         |
| $70^\circ$     | 0,940                      | 0,186                           | 0,175            | 0,000   |
| $80^\circ$     | 0,985                      | 0,178                           | 0,175            | 0,000   |
| $90^\circ$     | 1,000                      | 0,175                           | 0,175            |         |
|                |                            |                                 | 1,686            |         |
|                |                            | $\frac{1}{2} (0,274 + 0,175)$   | 0,224            |         |
|                |                            |                                 | 1,462            |         |
|                |                            | $-\frac{1}{12} (0,091 - 0,000)$ | — 0,008          |         |
|                |                            | $-\frac{1}{24} (0,086 + 0,000)$ | — 0,004          |         |
|                |                            |                                 | 1,450            |         |

et, puisque  $\omega = 10^\circ = 0,175$  radian,

$$\int_d^{\pi} \varphi \sin x dx = 1,450 \times 0,175 = 0,254$$

d'où

$$N = 0,047 + 2 \times 0,254 = 0,555.$$

On trouve ainsi :

| d.  | N     |       |       |
|-----|-------|-------|-------|
| 10° | 0,555 | 0,555 | 0,176 |
| 20  | 1,088 | 0,533 | 0,169 |
| 30  | 1,587 | 0,499 | 0,159 |
| 40  | 2,037 | 0,450 | 0,143 |
| 50  | 2,420 | 0,383 | 0,122 |
| 60  | 2,737 | 0,317 | 0,101 |
| 70  | 2,967 | 0,230 | 0,073 |
| 80  | 3,112 | 0,145 | 0,046 |
| 90  | 3,142 | 0,030 | 0,010 |
|     |       | <hr/> | <hr/> |
|     |       | 3,142 | 0,999 |

La troisième colonne du tableau ci-dessus, obtenue en faisant les différences des nombres de la colonne précédente, donne les nombres de météores qui passent à des distances de R comprises entre 0 degré et 10 degrés, entre 10 et 20 degrés, entre 20 et 30 degrés, etc... La quatrième colonne donne le quotient de chacun des nombres de la troisième colonne par leur somme. Les nombres de cette colonne constituent la fonction de fréquence théorique adoptée.

Le fait que la fonction de fréquence trouvée est indépendante de la hauteur du point R au-dessus de l'horizon simplifie considérablement les recherches ultérieures. Dans le cas contraire, il aurait été nécessaire de calculer la fonction de fréquence théorique pour chaque séance d'observation en adoptant pour hauteur du point R la hauteur moyenne de ce point pendant cette séance. Dans le cas de séances s'étendant sur plusieurs heures, un fractionnement aurait même été nécessaire.

8. — *Les observations utilisées.* — Dans le choix des observations à utiliser, nous nous sommes laissé guider par les règles suivantes :

1° Les observateurs devaient observer les points d'apparition et d'extinction de chaque météore sans se soucier de déterminer des points radiants, et, en particulier, le point radiant des Perséides.

2° Le ciel entier devait être surveillé afin que les conditions supposées dans la recherche de la fréquence théorique se retrouvent dans les observations. En outre, il est évident que, si les observateurs avaient surveillé de préférence la région de Persée, un excès de Perséides serait à attendre.

3° Le nombre des météores observés doit être très grand afin que la Loi des Grands Nombres puisse jouer.

Seul le catalogue d'étoiles filantes de HEIS <sup>(1)</sup> nous a paru satisfaire toutes ces conditions. En 43 ans, HEIS et ses collaborateurs ont réuni plus de 15000 météores dont 4291, observés du 1<sup>er</sup> juillet au début de septembre, ont été étudiés par nous. Pour chaque météore, HEIS donne l'heure ainsi que les coordonnées des points d'apparition et d'extinction. La recherche des radiants n'était pas son unique préoccupation car il s'intéressait également à la détermination des hauteurs des météores. En outre, le ciel entier était surveillé par divers observateurs, chacun observant une région déterminée : « *les observations, dit HEIS, furent effectuées dans un endroit dégagé, et, autant que possible par nuit sombre. Toutes les régions du ciel, Nord, Est, Sud, Ouest et le zénith et, si possible, les régions intermédiaires, nord-est, sud-est, sud-*

(1) Resultate der in den 43 Jahren 1833-1875 angestellten Sternschnuppen Beobachtungen, von Eduard HEIS. Veröffentlichungen der Königl. Sternwarte zu Münster, Bd II, Münster 1877.



prend ici la forme :

$$u(a) \left[ 1 - \frac{1 - v(c)}{1 + v(c)} \right] + w(b) \left[ \frac{1 - v(c)}{1 + v(c)} + 1 \right] + \frac{2h(c)}{1 + v(c)} = 0$$

c'est-à-dire précisément

$$u(a) v(c) + w(b) + h(c) = 0.$$

Ceci posé, des deux dernières équations (4) on tire

$$\operatorname{tg} \delta_1 \sin (\alpha_2 - \Omega) = \operatorname{tg} \delta_2 \sin (\alpha_1 - \Omega),$$

mais

$$\alpha_2 - \Omega = \alpha_2 - \alpha_1 + \alpha_1 - \Omega.$$

d'où :

$$\operatorname{tg} \delta_1 [\sin (\alpha_2 - \alpha_1) \cos (\alpha_1 - \Omega) + \sin (\alpha_1 - \Omega) \cos (\alpha_2 - \alpha_1)] = \operatorname{tg} \delta_2 \sin (\alpha_1 - \Omega)$$

En posant :

(II)

$$\frac{\operatorname{tg} \delta_2}{\operatorname{tg} \delta_1} = p$$

$$\sin (\alpha_2 - \alpha_1) + \cos (\alpha_2 - \alpha_1) \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega) = p \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega)$$

ou, en posant encore :

(I2)

$$\cos (\alpha_2 - \alpha_1) - p = m$$

(I3)

$$m \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega) + \sin (\alpha_2 - \alpha_1) = 0$$

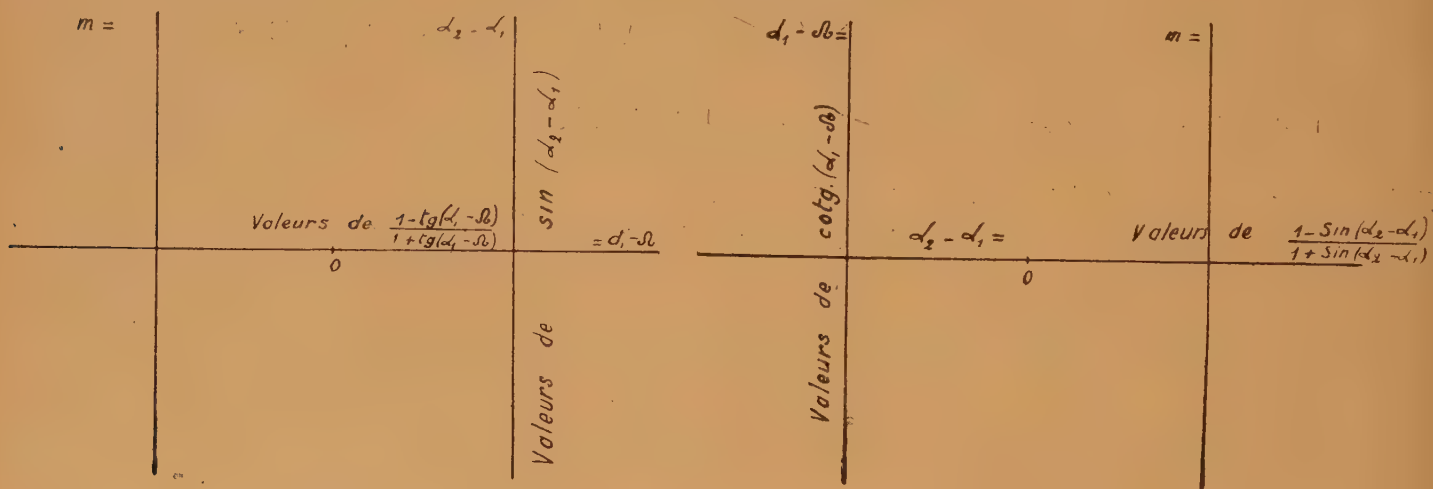


Fig. 5.

Fig. 5 bis.

L'équation (I3) est de la forme (8) avec  $h(c) = 0$ . Elle peut être résolue par l'abaque :

(I4)

$$\begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega)}{1 + \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega)} \\ y_1 = m & y_2 = \sin (\alpha_2 - \alpha_1) & y_3 = 0. \end{cases}$$

La figure (5) donne le schéma de l'abaque (I4). La fonction  $\frac{1 - \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega)}{1 + \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega)}$  se calcule aisément en remarquant que :

$$\frac{1 - \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega)}{1 + \operatorname{tg} (\alpha_1 - \Omega)} = \operatorname{tg} \left[ \frac{\pi}{4} - (\alpha_1 - \Omega) \right]$$

Dans le cas où  $\alpha_1 - \Omega$  est voisin de  $-45^\circ$ ,  $y_3$  est très grand. Pour pouvoir la résoudre dans ce cas nous écrirons l'équation (13) sous la forme :

$$(13 \text{ bis}) \quad m + \sin(\alpha_2 - \alpha_1) \cotg(\alpha_1 - \Omega) = 0$$

et nous obtiendrons l'abaque :

$$(14 \text{ bis}) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{1 + \sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \\ y_1 = \cotg(\alpha_1 - \Omega) & y_2 = m & y_3 = 0. \end{cases}$$

La figure (5 bis) reproduite et abaque. La fonction  $\frac{1 - \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{1 + \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}$  se calcule par la formule

$$\frac{1 - \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{1 + \sin(\alpha_2 - \alpha_1)} = \operatorname{tg}^2 \left[ \frac{\pi}{4} - \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right].$$

Dans les deux cas on obtient  $\alpha_1 - \Omega$  à  $\pi$  près, mais cette indétermination est levée par la condition que  $\sin(\alpha_1 - \Omega)$  doit être du signe de  $\delta_1$ .

Pour le calcul de  $p$ , nous obtenons seulement la valeur absolue de cette quantité par l'équation

$$(15) \quad |p| = \frac{\operatorname{tg} |\delta_2|}{\operatorname{tg} |\delta_1|}$$

ou

$$|p| \operatorname{tg} |\delta_1| - \operatorname{tg} |\delta_2| = 0,$$

d'où l'abaque représenté figure (6) :

$$(16) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \operatorname{tg} |\delta_1|}{1 + \operatorname{tg} |\delta_1|} = \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} - |\delta_1| \right) \\ y_1 = |p| & y_2 = -\operatorname{tg} |\delta_2| & y_3 = 0. \end{cases}$$

Quand  $|\delta_2|$  est voisin de  $90^\circ$ ,  $\operatorname{tg} |\delta_2|$  est très grand et l'abaque est inutilisable ; mais l'équation (15) peut s'écrire :

$$|p| = \frac{\cotg |\delta_1|}{\cotg |\delta_2|} = \frac{\operatorname{tg} \left[ \frac{\pi}{2} - |\delta_1| \right]}{\operatorname{tg} \left[ \frac{\pi}{2} - |\delta_2| \right]},$$

Fig. 6.

et l'on peut encore utiliser l'abaque en portant  $90^\circ - |\delta_2|$  à la place de  $|\delta_1|$  et  $90^\circ - |\delta_1|$  à la place de  $|\delta_2|$ . On n'a à calculer  $p$  numériquement que dans les cas peu nombreux où sa valeur est très grande. La figure (6) représente l'abaque (16).

Pour construire un abaque donnant  $i$ , on écrit la première des équations (4) sous la forme :

$$(17) \quad \operatorname{tg} i \sin(\alpha_1 - \Omega) - \operatorname{tg} \delta_1 = 0$$

et l'on obtient l'abaque

$$(18) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \sin(\alpha_1 - \Omega)}{1 + \sin(\alpha_1 - \Omega)} \\ y_1 = \operatorname{tg} i & y_2 = -\operatorname{tg} \delta_1 & y_3 = 0 \end{cases}$$

Afin de construire un abaque pour les cas où  $i$  ou  $\delta_1$  sont voisins de  $90^\circ$ , on écrit l'équation (17) sous la forme :

$$(17 \text{ bis}) \quad \sin(\alpha_1 - \Omega) - \operatorname{tg} \delta_1 \cotg i = 0$$

et l'on en déduit l'abaque :

$$(18 \text{ bis}) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \operatorname{tg} \delta_1}{1 + \operatorname{tg} \delta_1} \\ y_1 = -\cotg i & y_2 = \sin(\alpha_1 - \Omega) & y_3 = 0. \end{cases}$$

Les figures (7) et (7 bis) représentent ces deux abaques.

L'équation (7) contient quatre variables. Mais pour une valeur donnée de  $\delta$  cette équation peut encore se résoudre par l'abaque :

$$(19) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta} \\ y_1 = \sin(\alpha - \Omega) & y_2 = \sin d & y_3 = \frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}. \end{cases}$$

Seule l'échelle  $x_3 y_3$  dépend de  $\delta$ . On construira un abaque comprenant les deux échelles rectilignes  $x_1 y_1$  et  $x_2 y_2$  indépendantes de  $\delta$  et toute une série d'échelles curvilignes  $x_3 y_3$  correspondant chacune à une valeur particulière de  $\delta$ .

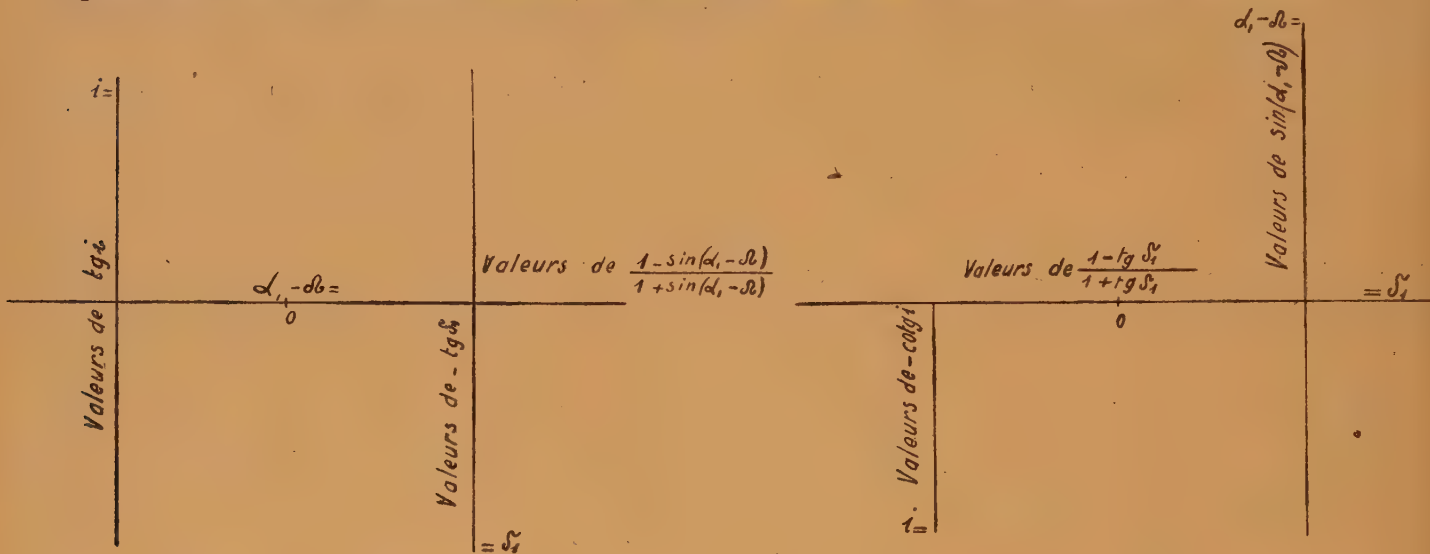


Fig. 7.

Fig. 7 bis.

On se bornera évidemment aux valeurs de  $\delta$  contenues dans l'éphéméride du radiant, c'est-à-dire aux valeurs comprises entre 42 et 62 degrés. Pour les valeurs de  $i$  voisines de 40 degrés, les diverses échelles  $x_3 y_3$  s'entrecroisent ; l'équation (7) doit alors être résolue numériquement. Dans nos recherches ce cas d'inutilisation de l'abaque ne s'est présenté que dans 10 % environ des calculs effectués. Il y a d'ailleurs intérêt, dans le but d'obtenir plus de clarté, à construire deux abaques, le premier pour  $\delta < 50^\circ$ , le deuxième pour  $\delta > 50^\circ$ . La table I donne les valeurs de  $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$  et de  $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ . La figure (8) représente cet abaque.

Il est possible de procéder à une vérification de  $i$  et de  $\Omega$ . Il suffit de remarquer que l'on a :

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \operatorname{tg} i \sin(\alpha_2 - \Omega).$$

On calcule  $\alpha_2 - \Omega$ , puis, portant la valeur trouvée à la place de  $\alpha_1 - \Omega$  dans l'abaque 18 ou 18 bis, on calcule  $\delta_2$  ; on doit retrouver la valeur donnée de cette quantité.

La méthode présente un autre avantage très appréciable. Le calcul de  $i$  et de  $\Omega$  ne concerne que la traînée météorique elle-même et ne fait pas intervenir le radiant des Perséides. Si, donc, on veut recommencer le calcul pour une autre position du radiant, il n'est pas nécessaire de reprendre le calcul de  $i$  et de  $\Omega$  ; il suffit de recalculer  $\alpha - \Omega$  et d'utiliser de nouveau l'abaque 19.

# *Schema de l'Abaque permettant le calcul de d*

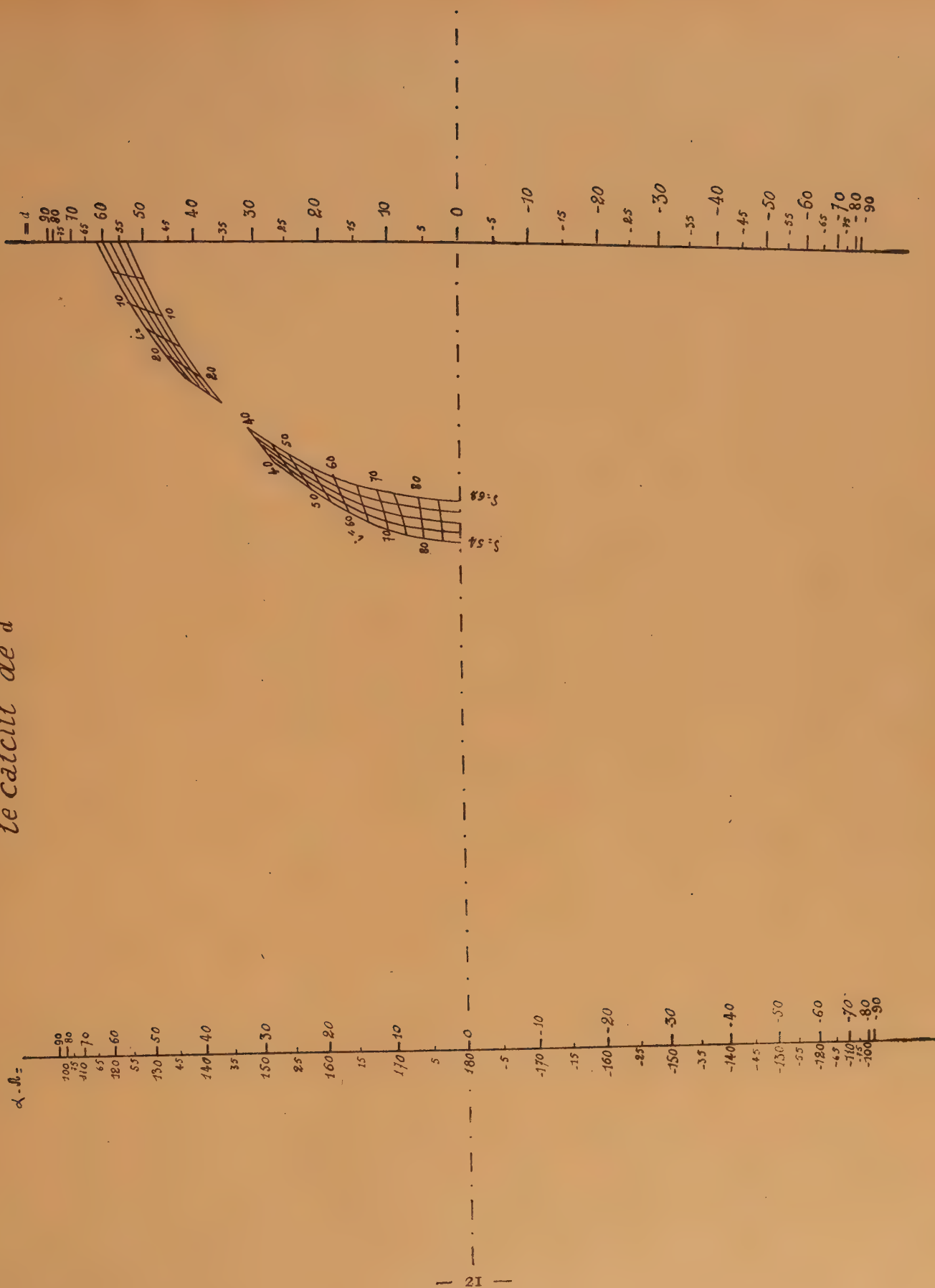


Fig. 8.

A cause de l'étendue considérable de ce travail, il nous est impossible de reproduire tous les calculs. Nous donnons seulement, à titre d'exemple, le tableau II qui les reproduit pour 20 météores. La première colonne donne le numéro du météore dans le catalogue de HEIS, le deuxième la date et l'heure du milieu de la séance d'observation en temps moyen de Paris, la troisième la longitude apparente du Soleil et la quatrième sa longitude moyenne rapportée à l'équinoxe 1900,0. Cette dernière longitude a été calculée en appliquant seulement à la précédente la précession réduite à un déplacement uniforme du point vernal de 50''26 par an. Les cinquième et sixième colonnes donnent les coordonnées équatoriales des extrémités des traînées, la septième les coordonnées du radiant des Perséides d'après DENNING. Les colonnes 8 à 16 reproduisent les différentes étapes du calcul d'après la méthode indiquée ci-dessus. Enfin les deux dernières colonnes se rapportent à la vérification de  $\Omega$  et de  $i$ . On voit que l'on retrouve toujours la valeur donnée de  $\delta_2$ , à un ou deux degrés près.

Le tableau III reproduit l'ensemble des résultats. Les météores n'y sont pas classés dans l'ordre du catalogue; nous avons, au contraire, groupé tous les météores apparus alors que la longitude du Soleil était comprise entre 100° et 105°, puis entre 105° et 110°... etc. Les sept premières colonnes de ce tableau donnent respectivement :

- le numéro de chaque météore dans le catalogue de HEIS ;
- la date et l'heure du milieu de la séance d'observation en temps moyen de Paris (0<sup>h</sup> étant compté à midi) ;
- la longitude du soleil rapportée à l'écliptique et à l'équinoxe moyens 1900,0 ;
- les coordonnées du point d'apparition du météore ;
- les coordonnées de son point d'extinction ;
- les coordonnées du radiant des Perséides d'après DENNING ;
- la distance  $d$  cherchée de la traînée au radiant de DENNING.

Enfin, les deux dernières colonnes donnent respectivement le radiant des Perséides d'après une éphéméride déterminée par nous-mêmes (voir chapitre II) en utilisant seulement des observations photographiques et la distance  $d'$  de chacune des traînées à ce radiant. Ce dernier calcul montrera plus loin que les résultats de notre étude se conservent quand on substitue notre éphéméride à l'éphéméride de DENNING, mais dès maintenant il donne une vérification du calcul de  $d$  par l'abaque 19 (le seul calcul qui n'avait pas été vérifié) grâce au fait que  $d$  et  $d'$  doivent être peu différents.

Tous les météores du catalogue de HEIS, observés entre le 1<sup>er</sup> juillet et le 1<sup>er</sup> septembre, ont été étudiés; seuls ont été exclus ceux qui décrivaient des trajectoires courbes, non assimilables à des grands cercles, et les observations dites « extérieures » communiquées à HEIS par d'autres chercheurs et pour lesquelles nous n'avions pas la certitude que le ciel entier avait été surveillé. En outre, pour 135° <  $\odot$  < 140° (époque du maximum des Perséides), le nombre des météores était si grand que nous avons dû nous limiter à ceux qui avaient été observés pendant deux années prises, l'une au début des observations de HEIS (1849), l'autre à la fin (1872).

L'éphéméride de DENNING ne porte que sur les dates comprises entre le 11 juillet ( $\odot = 109^\circ$  pour l'année 1900) et le 19 août ( $\odot = 146^\circ$ ). Pour 100° <  $\odot$  < 109° et pour 146° <  $\odot$  < 160°, l'éphéméride a dû être prolongée. Cette prolongation a été faite dans l'hypothèse que le caractère fondamental des Perséides, savoir  $\lambda - \odot = -77^\circ$ ,  $\delta = +38^\circ$  est conservé. On trouve ainsi

| $\odot$ | $\alpha$ | $\delta$ | $\odot$ | $\alpha$ | $\delta$ |
|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
| 100°    | 3°,0     | + 43°,4  | 150°    | 62°,3    | 59°,8    |
| 105     | 7,7      | + 45,4   | 155     | 70,5     | 60,6     |
| 110     | 12,7     | + 47,4   | 160     | 78,5     | 61,1     |

En ce qui concerne notre éphéméride, les coordonnées du radiant sont données dans le tableau IV du chapitre II. Toutefois, pour prolonger cette éphéméride, nous avons dû faire le calcul pour  $t = -30^\circ$ ,  $t = -35^\circ$ ,  $t = -40^\circ$  d'une part et  $t = +20^\circ$ ,  $t = +25^\circ$  d'autre part. On trouve ainsi

| $t$   | $\odot$ | $\alpha$ | $\delta$ | $t$ | $\odot$ | $\alpha$ | $\delta$ |
|-------|---------|----------|----------|-----|---------|----------|----------|
| - 40° | 97°21'  | 6°,4     | + 49°,5  | 20° | 157°21' | 66°,8    | 59°,8    |
| - 35  | 102°21' | 10,4     | + 50,7   | 25  | 162°21' | 73,0     | 60,0     |
| - 30  | 107°21' | 14,6     | + 51,8   |     |         |          |          |

TABLEAU I

Calcul de  $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$  et de  $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$

| i  | $\delta = 43^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 44^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 45^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 46^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 47^\circ$                                     |                                                     |
|----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|    | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ |
| 0  | 1,000                                                   | 0,682                                               | 1,000                                                   | 0,695                                               | 1,000                                                   | 0,707                                               | 1,000                                                   | 0,719                                               | 1,000                                                   | 0,731                                               |
| 5  | 0,880                                                   | 0,637                                               | 0,881                                                   | 0,651                                               | 0,884                                                   | 0,662                                               | 0,886                                                   | 0,675                                               | 0,889                                                   | 0,689                                               |
| 10 | 0,775                                                   | 0,597                                               | 0,778                                                   | 0,608                                               | 0,781                                                   | 0,620                                               | 0,784                                                   | 0,632                                               | 0,789                                                   | 0,645                                               |
| 15 | 0,683                                                   | 0,555                                               | 0,686                                                   | 0,566                                               | 0,690                                                   | 0,577                                               | 0,695                                                   | 0,589                                               | 0,700                                                   | 0,600                                               |
| 20 | 0,600                                                   | 0,513                                               | 0,605                                                   | 0,525                                               | 0,610                                                   | 0,535                                               | 0,616                                                   | 0,546                                               | 0,622                                                   | 0,557                                               |
| 25 | 0,529                                                   | 0,473                                               | 0,534                                                   | 0,483                                               | 0,540                                                   | 0,494                                               | 0,545                                                   | 0,504                                               | 0,553                                                   | 0,515                                               |
| 30 | 0,464                                                   | 0,434                                               | 0,470                                                   | 0,443                                               | 0,478                                                   | 0,452                                               | 0,487                                                   | 0,463                                               | 0,491                                                   | 0,472                                               |
| 35 | 0,409                                                   | 0,394                                               | 0,415                                                   | 0,402                                               | 0,422                                                   | 0,411                                               | 0,431                                                   | 0,422                                               | 0,437                                                   | 0,432                                               |
| 40 | 0,360                                                   | 0,355                                               | 0,368                                                   | 0,364                                               | 0,374                                                   | 0,373                                               | 0,382                                                   | 0,381                                               | 0,392                                                   | 0,390                                               |
| 45 | 0,318                                                   | 0,318                                               | 0,326                                                   | 0,326                                               | 0,333                                                   | 0,333                                               | 0,340                                                   | 0,341                                               | 0,349                                                   | 0,348                                               |
| 50 | 0,282                                                   | 0,281                                               | 0,289                                                   | 0,288                                               | 0,297                                                   | 0,295                                               | 0,305                                                   | 0,302                                               | 0,314                                                   | 0,308                                               |
| 55 | 0,252                                                   | 0,244                                               | 0,259                                                   | 0,255                                               | 0,267                                                   | 0,258                                               | 0,275                                                   | 0,263                                               | 0,283                                                   | 0,270                                               |
| 60 | 0,225                                                   | 0,209                                               | 0,232                                                   | 0,214                                               | 0,240                                                   | 0,220                                               | 0,247                                                   | 0,224                                               | 0,257                                                   | 0,230                                               |
| 65 | 0,202                                                   | 0,173                                               | 0,210                                                   | 0,178                                               | 0,218                                                   | 0,182                                               | 0,227                                                   | 0,186                                               | 0,236                                                   | 0,191                                               |
| 70 | 0,186                                                   | 0,138                                               | 0,194                                                   | 0,142                                               | 0,202                                                   | 0,145                                               | 0,210                                                   | 0,149                                               | 0,218                                                   | 0,152                                               |
| 75 | 0,172                                                   | 0,104                                               | 0,180                                                   | 0,106                                               | 0,188                                                   | 0,109                                               | 0,197                                                   | 0,111                                               | 0,206                                                   | 0,114                                               |
| 80 | 0,163                                                   | 0,069                                               | 0,171                                                   | 0,071                                               | 0,179                                                   | 0,073                                               | 0,188                                                   | 0,074                                               | 0,196                                                   | 0,076                                               |
| 85 | 0,157                                                   | 0,034                                               | 0,165                                                   | 0,036                                               | 0,174                                                   | 0,036                                               | 0,182                                                   | 0,037                                               | 0,191                                                   | 0,038                                               |
| 90 | 0,155                                                   | 0,000                                               | 0,164                                                   | 0,000                                               | 0,172                                                   | 0,000                                               | 0,180                                                   | 0,000                                               | 0,189                                                   | 0,000                                               |

TABLEAU I (suite)

Calcul de  $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$  et de  $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ .

| $i$ | $\delta = 48^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 49^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 50^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 51^\circ$                                     |                                                     | $\delta = 52^\circ$                                     |                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|     | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ |
| 0   | 1,000                                                   | 0,743                                               | 1,000                                                   | 0,755                                               | 1,000                                                   | 0,766                                               | 1,000                                                   | 0,777                                               | 1,000                                                   | 0,788                                               |
| 5   | 0,891                                                   | 0,700                                               | 0,893                                                   | 0,724                                               | 0,894                                                   | 0,724                                               | 0,896                                                   | 0,735                                               | 0,898                                                   | 0,745                                               |
| 10  | 0,792                                                   | 0,657                                               | 0,795                                                   | 0,680                                               | 0,800                                                   | 0,680                                               | 0,805                                                   | 0,690                                               | 0,808                                                   | 0,701                                               |
| 15  | 0,705                                                   | 0,612                                               | 0,709                                                   | 0,635                                               | 0,715                                                   | 0,635                                               | 0,720                                                   | 0,646                                               | 0,725                                                   | 0,657                                               |
| 20  | 0,629                                                   | 0,569                                               | 0,635                                                   | 0,590                                               | 0,640                                                   | 0,590                                               | 0,646                                                   | 0,600                                               | 0,650                                                   | 0,610                                               |
| 25  | 0,559                                                   | 0,525                                               | 0,566                                                   | 0,546                                               | 0,571                                                   | 0,546                                               | 0,580                                                   | 0,558                                               | 0,588                                                   | 0,568                                               |
| 30  | 0,498                                                   | 0,482                                               | 0,507                                                   | 0,502                                               | 0,513                                                   | 0,502                                               | 0,521                                                   | 0,512                                               | 0,530                                                   | 0,522                                               |
| 35  | 0,445                                                   | 0,440                                               | 0,454                                                   | 0,459                                               | 0,462                                                   | 0,459                                               | 0,471                                                   | 0,469                                               | 0,479                                                   | 0,477                                               |
| 40  | 0,399                                                   | 0,398                                               | 0,406                                                   | 0,415                                               | 0,415                                                   | 0,415                                               | 0,425                                                   | 0,425                                               | 0,432                                                   | 0,433                                               |
| 45  | 0,358                                                   | 0,356                                               | 0,366                                                   | 0,373                                               | 0,375                                                   | 0,373                                               | 0,384                                                   | 0,381                                               | 0,393                                                   | 0,388                                               |
| 50  | 0,322                                                   | 0,316                                               | 0,330                                                   | 0,330                                               | 0,340                                                   | 0,330                                               | 0,349                                                   | 0,337                                               | 0,358                                                   | 0,344                                               |
| 55  | 0,292                                                   | 0,275                                               | 0,302                                                   | 0,288                                               | 0,310                                                   | 0,288                                               | 0,320                                                   | 0,294                                               | 0,330                                                   | 0,300                                               |
| 60  | 0,267                                                   | 0,236                                               | 0,276                                                   | 0,246                                               | 0,285                                                   | 0,246                                               | 0,294                                                   | 0,252                                               | 0,304                                                   | 0,257                                               |
| 65  | 0,245                                                   | 0,195                                               | 0,254                                                   | 0,204                                               | 0,264                                                   | 0,204                                               | 0,274                                                   | 0,209                                               | 0,283                                                   | 0,214                                               |
| 70  | 0,228                                                   | 0,156                                               | 0,237                                                   | 0,163                                               | 0,246                                                   | 0,163                                               | 0,256                                                   | 0,167                                               | 0,267                                                   | 0,171                                               |
| 75  | 0,215                                                   | 0,117                                               | 0,224                                                   | 0,122                                               | 0,234                                                   | 0,122                                               | 0,244                                                   | 0,125                                               | 0,254                                                   | 0,128                                               |
| 80  | 0,206                                                   | 0,078                                               | 0,215                                                   | 0,082                                               | 0,225                                                   | 0,082                                               | 0,234                                                   | 0,083                                               | 0,245                                                   | 0,085                                               |
| 85  | 0,199                                                   | 0,039                                               | 0,209                                                   | 0,041                                               | 0,220                                                   | 0,041                                               | 0,230                                                   | 0,042                                               | 0,239                                                   | 0,043                                               |
| 90  | 0,198                                                   | 0,000                                               | 0,208                                                   | 0,000                                               | 0,217                                                   | 0,000                                               | 0,228                                                   | 0,000                                               | 0,238                                                   | 0,000                                               |

TABLEAU I (suite)

Calcul de  $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$  et de  $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ .

| $i$ | $\delta = 53^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 54^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 55^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 56^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 57^{\circ}$                                   |                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|     | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ |
|     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |
| 0   | 1,000                                                   | 0,799                                               | 1,000                                                   | 0,809                                               | 1,000                                                   | 0,819                                               | 1,000                                                   | 0,829                                               | 1,000                                                   | 0,839                                               |
| 5   | 0,900                                                   | 0,756                                               | 0,902                                                   | 0,765                                               | 0,905                                                   | 0,776                                               | 0,909                                                   | 0,787                                               | 0,912                                                   | 0,798                                               |
| 10  | 0,811                                                   | 0,712                                               | 0,815                                                   | 0,732                                               | 0,820                                                   | 0,733                                               | 0,824                                                   | 0,745                                               | 0,830                                                   | 0,754                                               |
| 15  | 0,730                                                   | 0,668                                               | 0,735                                                   | 0,678                                               | 0,741                                                   | 0,689                                               | 0,746                                                   | 0,699                                               | 0,760                                                   | 0,710                                               |
| 20  | 0,659                                                   | 0,622                                               | 0,664                                                   | 0,632                                               | 0,673                                                   | 0,643                                               | 0,678                                                   | 0,652                                               | 0,692                                                   | 0,665                                               |
| 25  | 0,595                                                   | 0,578                                               | 0,604                                                   | 0,588                                               | 0,610                                                   | 0,598                                               | 0,618                                                   | 0,609                                               | 0,634                                                   | 0,617                                               |
| 30  | 0,536                                                   | 0,531                                               | 0,545                                                   | 0,541                                               | 0,555                                                   | 0,551                                               | 0,563                                                   | 0,561                                               | 0,581                                                   | 0,571                                               |
| 35  | 0,487                                                   | 0,486                                               | 0,597                                                   | 0,495                                               | 0,506                                                   | 0,505                                               | 0,515                                                   | 0,514                                               | 0,534                                                   | 0,523                                               |
| 40  | 0,443                                                   | 0,441                                               | 0,452                                                   | 0,450                                               | 0,463                                                   | 0,459                                               | 0,473                                                   | 0,468                                               | 0,490                                                   | 0,476                                               |
| 45  | 0,403                                                   | 0,396                                               | 0,414                                                   | 0,404                                               | 0,423                                                   | 0,411                                               | 0,434                                                   | 0,420                                               | 0,455                                                   | 0,428                                               |
| 50  | 0,368                                                   | 0,350                                               | 0,380                                                   | 0,358                                               | 0,390                                                   | 0,367                                               | 0,401                                                   | 0,373                                               | 0,422                                                   | 0,380                                               |
| 55  | 0,340                                                   | 0,307                                               | 0,350                                                   | 0,312                                               | 0,362                                                   | 0,320                                               | 0,372                                                   | 0,326                                               | 0,395                                                   | 0,333                                               |
| 60  | 0,314                                                   | 0,262                                               | 0,326                                                   | 0,268                                               | 0,336                                                   | 0,274                                               | 0,348                                                   | 0,279                                               | 0,372                                                   | 0,285                                               |
| 65  | 0,294                                                   | 0,218                                               | 0,304                                                   | 0,223                                               | 0,316                                                   | 0,228                                               | 0,328                                                   | 0,232                                               | 0,352                                                   | 0,238                                               |
| 70  | 0,278                                                   | 0,174                                               | 0,288                                                   | 0,178                                               | 0,360                                                   | 0,182                                               | 0,311                                                   | 0,186                                               | 0,337                                                   | 0,190                                               |
| 75  | 0,264                                                   | 0,131                                               | 0,276                                                   | 0,134                                               | 0,286                                                   | 0,136                                               | 0,298                                                   | 0,139                                               | 0,322                                                   | 0,142                                               |
| 80  | 0,254                                                   | 0,087                                               | 0,268                                                   | 0,089                                               | 0,278                                                   | 0,091                                               | 0,290                                                   | 0,093                                               | 0,314                                                   | 0,095                                               |
| 85  | 0,250                                                   | 0,044                                               | 0,262                                                   | 0,045                                               | 0,273                                                   | 0,045                                               | 0,285                                                   | 0,047                                               | 0,308                                                   | 0,047                                               |
| 90  | 0,248                                                   | 0,000                                               | 0,260                                                   | 0,000                                               | 0,271                                                   | 0,000                                               | 0,284                                                   | 0,000                                               | 0,307                                                   | 0,000                                               |

TABLEAU I (fin)

Calcul de  $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$  et de  $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ .

| $i$ | $\delta = 58^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 59^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 60^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 61^{\circ}$                                   |                                                     | $\delta = 62^{\circ}$                                   |                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|     | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{1 - \sin i \cos \delta}{1 + \sin i \cos \delta}$ | $\frac{\sin \delta \cos i}{1 + \sin i \cos \delta}$ |
|     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |                                                         |                                                     |
| 0   | 1,000                                                   | 0,848                                               | 1,000                                                   | 0,857                                               | 1,000                                                   | 0,866                                               | 1,000                                                   | 0,875                                               | 1,000                                                   | 0,883                                               |
| 5   | 0,912                                                   | 0,808                                               | 0,914                                                   | 0,816                                               | 0,918                                                   | 0,828                                               | 0,919                                                   | 0,836                                               | 0,921                                                   | 0,845                                               |
| 10  | 0,830                                                   | 0,765                                               | 0,838                                                   | 0,776                                               | 0,840                                                   | 0,786                                               | 0,845                                                   | 0,794                                               | 0,849                                                   | 0,804                                               |
| 15  | 0,760                                                   | 0,721                                               | 0,765                                                   | 0,730                                               | 0,772                                                   | 0,743                                               | 0,777                                                   | 0,751                                               | 0,783                                                   | 0,760                                               |
| 20  | 0,692                                                   | 0,674                                               | 0,700                                                   | 0,685                                               | 0,705                                                   | 0,695                                               | 0,716                                                   | 0,705                                               | 0,723                                                   | 0,715                                               |
| 25  | 0,634                                                   | 0,628                                               | 0,643                                                   | 0,637                                               | 0,650                                                   | 0,648                                               | 0,660                                                   | 0,658                                               | 0,669                                                   | 0,668                                               |
| 30  | 0,581                                                   | 0,580                                               | 0,590                                                   | 0,590                                               | 0,600                                                   | 0,600                                               | 0,610                                                   | 0,609                                               | 0,619                                                   | 0,620                                               |
| 35  | 0,534                                                   | 0,532                                               | 0,544                                                   | 0,541                                               | 0,555                                                   | 0,552                                               | 0,565                                                   | 0,560                                               | 0,576                                                   | 0,570                                               |
| 40  | 0,490                                                   | 0,485                                               | 0,501                                                   | 0,492                                               | 0,513                                                   | 0,502                                               | 0,524                                                   | 0,511                                               | 0,536                                                   | 0,519                                               |
| 45  | 0,455                                                   | 0,437                                               | 0,466                                                   | 0,445                                               | 0,478                                                   | 0,452                                               | 0,489                                                   | 0,460                                               | 0,502                                                   | 0,468                                               |
| 50  | 0,422                                                   | 0,388                                               | 0,434                                                   | 0,394                                               | 0,446                                                   | 0,402                                               | 0,459                                                   | 0,410                                               | 0,471                                                   | 0,418                                               |
| 55  | 0,395                                                   | 0,339                                               | 0,406                                                   | 0,345                                               | 0,419                                                   | 0,352                                               | 0,432                                                   | 0,359                                               | 0,444                                                   | 0,365                                               |
| 60  | 0,372                                                   | 0,291                                               | 0,383                                                   | 0,296                                               | 0,396                                                   | 0,302                                               | 0,409                                                   | 0,308                                               | 0,421                                                   | 0,313                                               |
| 65  | 0,352                                                   | 0,242                                               | 0,364                                                   | 0,247                                               | 0,376                                                   | 0,252                                               | 0,390                                                   | 0,257                                               | 0,403                                                   | 0,262                                               |
| 70  | 0,337                                                   | 0,194                                               | 0,348                                                   | 0,197                                               | 0,360                                                   | 0,206                                               | 0,375                                                   | 0,205                                               | 0,388                                                   | 0,210                                               |
| 75  | 0,322                                                   | 0,145                                               | 0,336                                                   | 0,148                                               | 0,348                                                   | 0,151                                               | 0,362                                                   | 0,154                                               | 0,376                                                   | 0,157                                               |
| 80  | 0,314                                                   | 0,097                                               | 0,328                                                   | 0,099                                               | 0,340                                                   | 0,101                                               | 0,354                                                   | 0,103                                               | 0,368                                                   | 0,105                                               |
| 85  | 0,308                                                   | 0,049                                               | 0,322                                                   | 0,049                                               | 0,335                                                   | 0,051                                               | 0,349                                                   | 0,051                                               | 0,362                                                   | 0,053                                               |
| 90  | 0,307                                                   | 0,000                                               | 0,320                                                   | 0,000                                               | 0,333                                                   | 0,000                                               | 0,347                                                   | 0,000                                               | 0,361                                                   | 0,000                                               |

TABLEAU II

| Numéro<br>du<br>météore | Date et heure<br>du milieu de la séance<br>d'observation<br>(temps moyen de Paris) | $\odot$ | $\odot$  | $\alpha_1$ | $\delta_1$ | $\alpha_2$ | $\delta_2$ | $\alpha$ | $\delta$ | $\alpha_2 - \alpha_1$ | $\cos(\alpha_2 - \alpha_1)$ | $\rho$ | $m$  | $\alpha_1 - \Omega$ | $i$   | $\Omega$ | $\alpha - \Omega$ | $d$  | $\alpha_2$ | $\Omega$ | $\delta_2$ |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------------|--------|------|---------------------|-------|----------|-------------------|------|------------|----------|------------|
| 2380                    | 1848 Juillet 29 à 10h53m                                                           | 126°50' | 127°035' | 140°       | +63°15'00" | 339,5      | +54,5      | +100     | +0,985   | +0,702                | +0,283                      | +149°  | 75°  | —                   | 9°    | —        | +420,5            | 100  | +159°      | —        | 53,5       |
| 81                      | "                                                                                  | "       | "        | 275        | +35 271    | +30        | —          | 4        | +0,998   | +0,821                | +0,177                      | +22    | 62   | —                   | 107   | —        | +140,5            | 3    | +18        | —        | 30         |
| 82                      | "                                                                                  | "       | "        | 205        | +20 200    | +15        | —          | 5        | +0,996   | +0,734                | +0,262                      | +18    | 50   | —                   | 173   | —        | +153,5            | 45,5 | +13        | —        | 15         |
| 83                      | "                                                                                  | "       | "        | 343        | +32 347    | +30        | —          | 4        | +0,998   | +0,930                | +0,068                      | +134   | 41   | —                   | 151   | —        | +175,5            | 39   | +138       | —        | 30         |
| 84                      | "                                                                                  | "       | "        | 267        | +4 271     | —3         | —          | 4        | +0,998   | +0,750                | +1,748                      | +178   | 64,5 | —                   | 89    | —        | +55,5             | 51   | +178       | —        | 4          |
| 85                      | "                                                                                  | "       | "        | 278        | +82 238    | +75        | —          | 40       | +0,766   | +0,529                | +0,237                      | +70    | 82,5 | —                   | 152   | —        | +174,5            | 9    | +30        | —        | 75         |
| 86                      | "                                                                                  | "       | "        | 305        | —20 290    | —23        | —          | 15       | +0,966   | +1,168                | —0,202                      | —52    | 25   | —                   | 3     | —        | +36,5             | 37   | +67        | —        | 23         |
| 87                      | "                                                                                  | "       | "        | 140        | +64 132    | +55        | —          | 8        | +0,990   | +0,698                | +0,292                      | +25    | 78   | —                   | 115   | —        | +81,5             | 46   | +17        | —        | 54         |
| 88                      | "                                                                                  | "       | "        | 312        | +45 305    | +47        | —          | 7        | +0,993   | +1,070                | —0,077                      | +122   | 49,5 | —                   | 170   | —        | +156,5            | 44,5 | +115       | —        | 46,5       |
| 89                      | "                                                                                  | "       | "        | 258        | +15 262    | +3         | —          | 4        | +0,998   | +0,200                | +0,798                      | +175   | 72   | —                   | 83    | —        | +49,5             | 42   | +179       | —        | 3          |
| 90                      | "                                                                                  | "       | "        | 195        | +38 212    | +28        | —          | 17       | +0,956   | +0,685                | +0,271                      | +133   | 46,5 | —                   | 62    | —        | +28,5             | 49   | +150       | —        | 28         |
| 91                      | "                                                                                  | "       | "        | 283        | —4 273     | —5         | —          | 10       | +0,985   | +1,224                | —0,239                      | —36    | 7    | —                   | 141   | —        | +174,5            | 53   | +54        | —        | 5,5        |
| 93                      | "                                                                                  | "       | "        | 350        | +59 7      | +54        | —          | 17       | +0,956   | +0,825                | +0,131                      | +114   | 61   | —                   | 124   | —        | +157,5            | 11,5 | +131       | —        | 54         |
| 94                      | "                                                                                  | "       | "        | 304        | —13 308    | —18        | —          | 4        | +0,998   | +1,399                | —0,401                      | —170   | 53   | —                   | 114   | —        | +80,5             | 70   | +166       | —        | 17,5       |
| 95                      | "                                                                                  | "       | "        | 257        | +39 243    | +41        | —          | 9        | +0,988   | +1,071                | —0,083                      | +119   | 42,5 | —                   | 138   | —        | +104,5            | 77   | +110       | —        | 41         |
| 97                      | "                                                                                  | "       | "        | 330        | +23 336    | +7         | —          | 6        | +0,995   | +0,290                | +0,705                      | +171,5 | 71   | —                   | 158,5 | —        | +125              | 45   | +177,5     | —        | 7,5        |
| 98                      | "                                                                                  | "       | "        | 128        | +60 132    | +48        | —          | 4        | +0,998   | +0,642                | +0,356                      | +168,5 | 83   | —                   | 40,5  | —        | +74               | 27,5 | +172,5     | —        | 47         |
| 99                      | "                                                                                  | "       | "        | 200        | +52 186    | +40        | —          | 14       | +0,970   | +0,653                | +0,317                      | +38    | 64   | —                   | 162   | —        | +128,5            | 49,5 | +24        | —        | 40         |
| 2400                    | "                                                                                  | "       | "        | 297        | +18 300    | +8         | —          | 3        | +0,999   | +0,440                | +0,559                      | +174,5 | 73   | —                   | 122,5 | —        | +89               | 51,5 | +177,5     | —        | 8          |
| 01                      | "                                                                                  | "       | "        | 289        | +70 285    | +82        | —          | 4        | +0,998   | +2,579                | —1,581                      | +177,5 | 89   | —                   | 111,5 | —        | +78               | 35,5 | +173,5     | —        | 82         |

TABLEAU III

| Numéro                          | Date et heure<br>temps moyen de Paris              | $\odot$ 1900,0 | $\alpha_1$ | $\delta_1$ | $\alpha_2$ | $\delta_2$ | $\alpha$ | $\delta$ | $d$  | $\alpha'$ | $\delta'$ | $d'$ |
|---------------------------------|----------------------------------------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|------|-----------|-----------|------|
| $100^\circ < \odot < 105^\circ$ |                                                    |                |            |            |            |            |          |          |      |           |           |      |
| 5181                            | 1852 Juillet 4 à 10 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>   | 103°38'        | 250°       | +65°       | 228°       | +71°       | 6°5      | +45°     | 59°  | 11°5      | +51°      | 55°  |
| 82                              | "                                                  | "              | 232        | +38        | 227        | +29        | "        | "        | 4,5  | "         | "         | 1,5  |
| 83                              | "                                                  | "              | 280        | +86        | 100        | +87        | "        | "        | 45   | "         | "         | 39   |
| 84                              | Juillet 5 à 10 <sup>h</sup> 9 <sup>m</sup>         | 104°35'        | 290        | +28        | 242        | —2         | 7,5      | +45      | 12   | 12,5      | +51       | 19   |
| 14500                           | 1869 Juillet 5 à 9 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>    | 104°13,5       | 211        | +29        | 207        | +37        | 7        | +45      | 34,5 | 12        | +51       | 33   |
| $105^\circ < \odot < 110^\circ$ |                                                    |                |            |            |            |            |          |          |      |           |           |      |
| 2900                            | 1849 Juillet 6 à 10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>   | 105°20'        | 290        | +80        | 110        | +75        | 8        | +45,5    | 43,5 | 13,0      | +51,5     | 38,5 |
| 01                              | Juillet 7 à 10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>        | 106°17,5       | 244        | +46        | 267        | +37        | 9        | +46      | 68,5 | 13,5      | +51,5     | 70,5 |
| 02                              | "                                                  | "              | 20         | +78        | 50         | +77        | "        | "        | 30   | "         | "         | 25   |
| 03                              | "                                                  | "              | 213        | +47        | 200        | +38        | "        | "        | 35,5 | "         | "         | 39,5 |
| 04                              | "                                                  | "              | 325        | +22        | 308        | +15        | "        | "        | 16   | "         | "         | 22   |
| 05                              | Juillet 8 à 10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>        | 107°15,5       | 321        | +70        | 120        | +80        | 10       | +46,5    | 32   | 14,5      | +52       | 29,5 |
| 06                              | "                                                  | "              | 240        | +32        | 229        | +22        | "        | "        | 17   | "         | "         | 23   |
| 07                              | Juillet 10 à 10 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>        | 109°08'        | 258        | +40        | 250        | +56        | 12       | +47      | 53   | 16        | +52       | 48   |
| 08                              | "                                                  | "              | 243        | +28        | 231        | +21        | "        | "        | 27,5 | "         | "         | 32,5 |
| 4184                            | 1850 Juillet 8 à 10 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>   | 106°57,5       | 315        | +65        | 335        | +67        | "        | "        | 16   | 9,5       | +51,5     | 10   |
| 85                              | "                                                  | "              | 320        | +88        | 315        | +82        | "        | "        | 34,5 | "         | "         | 32,5 |
| 86                              | "                                                  | "              | 238        | +59        | 188        | +54        | "        | "        | 58,5 | "         | "         | 59   |
| 87                              | Juillet 11 à 11 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>       | 109°50,5       | 205        | +35        | 202        | +50        | 12,5     | +47,5    | 15,5 | 17        | +52,5     | 12   |
| 5185                            | 1852 Juillet 6 à 10 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>   | 105°33'        | 241        | +74        | 240        | +76        | 8        | +45,5    | 35,5 | 13        | +51,5     | 32,5 |
| 86                              | Juillet 7 à 10 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>        | 106°30,5       | 181        | +53        | 181        | +44        | 9        | +46      | 5,5  | 14        | +51,5     | 8    |
| 87                              | Juillet 10 à 11 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>       | 109°24'        | 207        | +28        | 208        | +17        | 12       | +47      | 15,5 | 16,5      | +51,5     | 12   |
| 88                              | "                                                  | "              | 232        | +20        | 223        | +5         | "        | "        | 5    | "         | "         | 11   |
| 89                              | "                                                  | "              | 86         | +50        | 86         | +39        | "        | "        | 41   | "         | "         | 35   |
| 90                              | "                                                  | "              | 247        | —10        | 244        | —24        | "        | "        | 25,5 | "         | "         | 19,5 |
| 7628                            | 1855 Juillet 8 à 10 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 5 | 106°45'        | 5          | +48        | 15         | +57        | 9,5      | +46      | 4    | 14        | +51,5     | 3    |
| 29                              | "                                                  | "              | 234        | +70        | 240        | +77        | "        | "        | 20   | "         | "         | 14   |
| 30                              | "                                                  | "              | 245        | +72        | 253        | +78        | "        | "        | 23,5 | "         | "         | 18   |
| 31                              | "                                                  | "              | 150        | +62        | 172        | +53        | "        | "        | 30,5 | "         | "         | 28   |
| 32                              | "                                                  | "              | 230        | +27        | 218        | +13        | "        | "        | 14   | "         | "         | 19,5 |
| 33                              | "                                                  | "              | 227        | +27        | 221        | +22        | "        | "        | 24,5 | "         | "         | 29   |
| 34                              | "                                                  | "              | 295        | +80        | 330        | +84        | "        | "        | 35,5 | "         | "         | 29   |
| 35                              | Juillet 9 à 11 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 5       | 107°43'        | 272        | +5         | 257        | +2         | 10,5     | +46,5    | 36   | 15        | +52       | 42   |

TABLEAU III (suite)

| Numéro                          | Date et heure<br>temps moyen de Paris             | ☉ 1900,0 | $\alpha_1$ | $\delta_1$ | $\alpha_2$ | $\delta_2$ | $\alpha'$ | $\delta$ | $d$  | $\alpha'$ | $\delta'$ | $d'$ |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|------|-----------|-----------|------|
| $105^\circ < \odot < 110^\circ$ |                                                   |          |            |            |            |            |           |          |      |           |           |      |
| 7636                            | 1855 Juillet 9 à 11 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> 5 | 107°43'  | 4          | +63        | 242        | +50        | 10,5      | +46,5    | 7,5  | 15        | +52       | 1,5  |
| 10697                           | 1860 Juillet 10 à 10 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> | 109°19'  | 170        | +35        | 180        | +15        | 12        | +47      | 11,5 | 16,5      | +52       | 10,5 |
| $110^\circ < \odot < 115^\circ$ |                                                   |          |            |            |            |            |           |          |      |           |           |      |
| 2909                            | 1849 Juillet 11 à 11 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup>  | 110°7,5  | 220        | +80        | 140        | +88        | 13        | +47,5    | 26,5 | 17        | +52,5     | 22   |
| 10                              | "                                                 | "        | 295        | +45        | 290        | +28        | "         | "        | 31,5 | "         | "         | 26,5 |
| 11                              | "                                                 | "        | 257        | +66        | 244        | +47        | "         | "        | 17   | "         | "         | 11,5 |
| 12                              | "                                                 | "        | 353        | +47        | 347        | +36        | "         | "        | 11,5 | "         | "         | 10   |
| 13                              | Juillet 12 à 11 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>      | 111°6,5  | 244        | +46        | 213        | +47        | 14        | +47,5    | 67,5 | 18        | +52,5     | 70   |
| 14                              | "                                                 | "        | 258        | +48        | 259        | +59        | "         | "        | 35   | "         | "         | 33,5 |
| 15                              | "                                                 | "        | 21         | +27        | 22         | +18        | "         | "        | 2,5  | "         | "         | 0,5  |
| 16                              | Juillet 14 à 10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>      | 112°58,5 | 328        | +26        | 347        | +18        | 17,5      | +50      | 40   | 19,5      | +53       | 43   |
| 17                              | Juillet 15 à 10 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>      | 113°54,5 | 352        | +76        | 30         | +76        | 18        | +50,5    | 26   | 20        | +53       | 24   |
| 18                              | Juillet 16 à 12 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>      | 114°57'  | 307        | +61        | 324        | +67        | 19,5      | +51      | 17   | 21        | +53,5     | 14   |
| 19                              | "                                                 | "        | 340        | +66        | 280        | +78        | "         | "        | 16,5 | "         | "         | 18   |
| 20                              | "                                                 | "        | 255        | +64        | 230        | +61        | "         | "        | 39   | "         | "         | 40   |
| 21                              | "                                                 | "        | 288        | +67        | 263        | +56        | "         | "        | 2,5  | "         | "         | 0,5  |
| 22                              | "                                                 | "        | 285        | +64        | 251        | +68        | "         | "        | 40,5 | "         | "         | 41   |
| 23                              | "                                                 | "        | 337        | +49        | 317        | +30        | "         | "        | 10,5 | "         | "         | 8    |
| 24                              | "                                                 | "        | 303        | +43        | 288        | +35        | "         | "        | 6    | "         | "         | 8,5  |
| 4188                            | 1850 Juillet 12 à 10 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>  | 110°45,5 | 255        | +62        | 219        | +28        | 13,5      | +47,5    | 7,5  | 17,5      | +52,5     | 12   |
| 89                              | "                                                 | "        | 280        | +3         | 286        | +2         | "         | "        | 57,5 | "         | "         | 62,5 |
| 5191                            | 1852 Juillet 11 à 10 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> | 110°11,5 | 218        | — 5        | 212        | — 14       | 13        | +47,5    | 5,5  | 17        | +52,5     | 11   |
| 92                              | "                                                 | "        | 239        | — 3        | 234        | — 12       | "         | "        | 10   | "         | "         | 4,5  |
| 93                              | Juillet 14 à 10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>      | 113°13,5 | 222        | +75        | 10         | +88        | 17,5      | +50      | 12   | 19,5      | +53       | 10,5 |
| 94                              | "                                                 | "        | 300        | +50        | 296        | +46        | "         | "        | 16   | "         | "         | 13,5 |
| 95                              | "                                                 | "        | 322        | +62        | 321        | +69        | "         | "        | 32,5 | "         | "         | 31   |
| 96                              | "                                                 | "        | 321        | +60        | 340        | +59        | "         | "        | 3    | "         | "         | 6    |
| 10846                           | 1861 Juillet 11 à 10 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>  | 110°1'   | 250        | +30        | 260        | +4         | 12,5      | +47,5    | 57   | 17        | +52,5     | 51,5 |
| $115^\circ < \odot < 120^\circ$ |                                                   |          |            |            |            |            |           |          |      |           |           |      |
| 2925                            | 1849 Juillet 20 à 9 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>  | 118°39,5 | 238        | +69        | 200        | +69        | 23        | +52      | 55   | 24,5      | +54,5     | 53,5 |
| 26                              | Juillet 21 à 14 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>       | 119°47,5 | 65         | +48        | 71         | +41        | 24,5      | +52,5    | 13   | 26        | +54,5     | 10   |
| 5197                            | 1852 Juillet 16 à 10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> | 115°6,5  | 267        | +52        | 251        | +42        | 19        | +50,5    | 11,5 | 21,5      | +53,5     | 14   |

(1) Nota. Nous arrêtons ici la publication de ce tableau qui comprend 161 pages. Toute personne qui désire en avoir communication peut le demander à M. Guigay, astronome à l'Observatoire, 2, place Le Verrier, Marseille.

10. — *Les fonctions de fréquence des distances  $d$  et  $d'$  et la durée des Perséides.* — Les valeurs trouvées des distances  $d$  et  $d'$  des différentes traînées météoriques au radiant des Perséides permettent de déterminer les fonctions de fréquence de ces quantités. Le tableau IV donne pour les divers intervalles de variation de la longitude du soleil ( $100^{\circ} < \odot < 105^{\circ}$ ;  $105^{\circ} < \odot < 110^{\circ}$ ; ...), la répartition observée des quantités  $d$  et  $d'$  ainsi que la répartition théorique obtenue en multipliant le nombre total des météores par les nombres proportionnels théoriques obtenus au paragraphe 7, c'est-à-dire :

|                        |             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $d$ .....              | $0^{\circ}$ | $10^{\circ}$ | $20^{\circ}$ | $30^{\circ}$ | $40^{\circ}$ | $50^{\circ}$ | $60^{\circ}$ | $70^{\circ}$ | $80^{\circ}$ | $90^{\circ}$ |
| Nombre théorique ..... | 0,176       | 0,169        | 0,159        | 0,143        | 0,122        | 0,101        | 0,073        | 0,046        | 0,010        |              |

Il est bon de rappeler que cette répartition théorique correspond au cas où tous les météores sont répartis au hasard sur la sphère céleste et où, par conséquent, il n'y a pas de Perséides.

TABLEAU IV

$105^{\circ} < \odot < 110^{\circ}$

|                              |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
|------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ (degrés).....    | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 4 | 7  | 5  | 8  | 2  | 2  | 1  | 0  | 0  |    | 29    |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 3 | 9  | 7  | 6  | 2  | 1  | 0  | 1  | 0  |    | 29    |
| Nombre théorique.....        | 5 | 5  | 5  | 4  | 4  | 3  | 2  | 1  | 0  |    | 29    |

$110^{\circ} < \odot < 115^{\circ}$

|                              |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
|------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ .....            | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 6 | 8  | 2  | 4  | 2  | 2  | 1  | 0  | 0  |    | 25    |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 7 | 7  | 3  | 2  | 3  | 1  | 1  | 1  | 0  |    | 25    |
| Nombre théorique.....        | 5 | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 2  | 1  | 0  |    | 26    |

$115^{\circ} < \odot < 120^{\circ}$

|                              |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
|------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ .....            | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 2 | 6  | 4  | 3  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |    | 19    |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 3 | 5  | 4  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 0  |    | 19    |
| Nombre théorique.....        | 3 | 3  | 3  | 3  | 2  | 2  | 1  | 1  | 0  |    | 18    |

$120^{\circ} < \odot < 125^{\circ}$

|                              |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
|------------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ .....            | 0   | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 120 | 96 | 78 | 67 | 56 | 50 | 46 | 22 | 15 |    | 550   |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 119 | 94 | 82 | 71 | 52 | 55 | 40 | 22 | 17 |    | 550   |
| Nombre théorique.....        | 97  | 93 | 87 | 79 | 67 | 56 | 40 | 25 | 6  |    | 550   |

Pour 1000

|                              |     |     |     |     |     |     |    |    |    |  |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--|------|
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 218 | 175 | 142 | 122 | 102 | 91  | 84 | 40 | 27 |  | 1001 |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 216 | 171 | 149 | 129 | 95  | 100 | 73 | 40 | 31 |  | 1004 |
| Nombre théorique.....        | 176 | 169 | 159 | 143 | 122 | 101 | 73 | 46 | 10 |  | 999  |

| $125^{\circ} < \odot < 130^{\circ}$ |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |       |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ .....                   | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....         | 219 | 197 | 170 | 113 | 110 | 96  | 63 | 41 | 20 |    | 1029  |
| Nombre observé ( $d'$ ).....        | 222 | 198 | 168 | 113 | 114 | 90  | 62 | 39 | 23 |    | 1029  |
| Nombre théorique .....              | 183 | 176 | 164 | 148 | 126 | 104 | 75 | 47 | 10 |    | 1028  |

Pour 1000

|                              |     |     |     |     |     |     |    |    |    |  |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--|------|
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 213 | 192 | 165 | 110 | 107 | 93  | 61 | 40 | 19 |  | 1000 |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 216 | 193 | 160 | 110 | 111 | 88  | 60 | 38 | 22 |  | 998  |
| Nombre théorique .....       | 176 | 169 | 159 | 143 | 122 | 101 | 73 | 46 | 10 |  | 999  |

| $130^{\circ} < \odot < 135^{\circ}$ |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |       |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ .....                   | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....         | 301 | 203 | 151 | 135 | 96  | 70  | 41 | 29 | 4  |    | 1030  |
| Nombre observé ( $d'$ ).....        | 301 | 207 | 160 | 128 | 92  | 70  | 40 | 27 | 5  |    | 1030  |
| Nombre théorique .....              | 181 | 174 | 164 | 147 | 126 | 104 | 75 | 47 | 10 |    | 1028  |

Pour 1000

|                              |     |     |     |     |     |     |    |    |    |  |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--|------|
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 292 | 197 | 147 | 131 | 93  | 68  | 40 | 28 | 4  |  | 1000 |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 292 | 201 | 155 | 124 | 89  | 68  | 39 | 26 | 5  |  | 999  |
| Nombre théorique .....       | 176 | 169 | 159 | 143 | 122 | 101 | 73 | 46 | 10 |  | 999  |

| $135^{\circ} < \odot < 140^{\circ}$ |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
|-------------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ .....                   | 0   | 10  | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....         | 204 | 147 | 77 | 43 | 51 | 17 | 13 | 10 | 1  |    | 563   |
| Nombre observé ( $d'$ ).....        | 204 | 140 | 84 | 44 | 48 | 19 | 11 | 9  | 2  |    | 563   |
| Nombre théorique .....              | 99  | 5   | 89 | 80 | 69 | 67 | 41 | 26 | 6  |    | 562   |

Pour 1000

|                              |     |     |     |     |     |     |    |    |    |  |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--|------|
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 363 | 262 | 137 | 76  | 91  | 30  | 23 | 18 | 2  |  | 996  |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 366 | 248 | 149 | 78  | 15  | 34  | 20 | 16 | 4  |  | 1000 |
| Nombre théorique .....       | 176 | 169 | 159 | 143 | 162 | 101 | 73 | 46 | 10 |  | 999  |

| $140^{\circ} < \odot < 145^{\circ}$ |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |       |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-------|
| $d$ ou $d'$ .....                   | 0   | 10  | 20  | 30  | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( $d$ ).....         | 229 | 157 | 105 | 70  | 65 | 41 | 18 | 14 | 6  |    | 705   |
| Nombre observé ( $d'$ ).....        | 230 | 156 | 106 | 71  | 64 | 39 | 19 | 14 | 6  |    | 705   |
| Nombre théorique .....              | 124 | 119 | 112 | 101 | 86 | 71 | 52 | 32 | 7  |    | 704   |

Pour 1000

|                              |     |     |     |     |     |     |    |    |    |  |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--|------|
| Nombre observé ( $d$ ).....  | 326 | 223 | 149 | 99  | 92  | 58  | 26 | 20 | 9  |  | 1002 |
| Nombre observé ( $d'$ )..... | 327 | 222 | 151 | 101 | 91  | 55  | 27 | 20 | 9  |  | 1003 |
| Nombre théorique .....       | 176 | 169 | 159 | 143 | 122 | 101 | 73 | 46 | 10 |  | 999  |

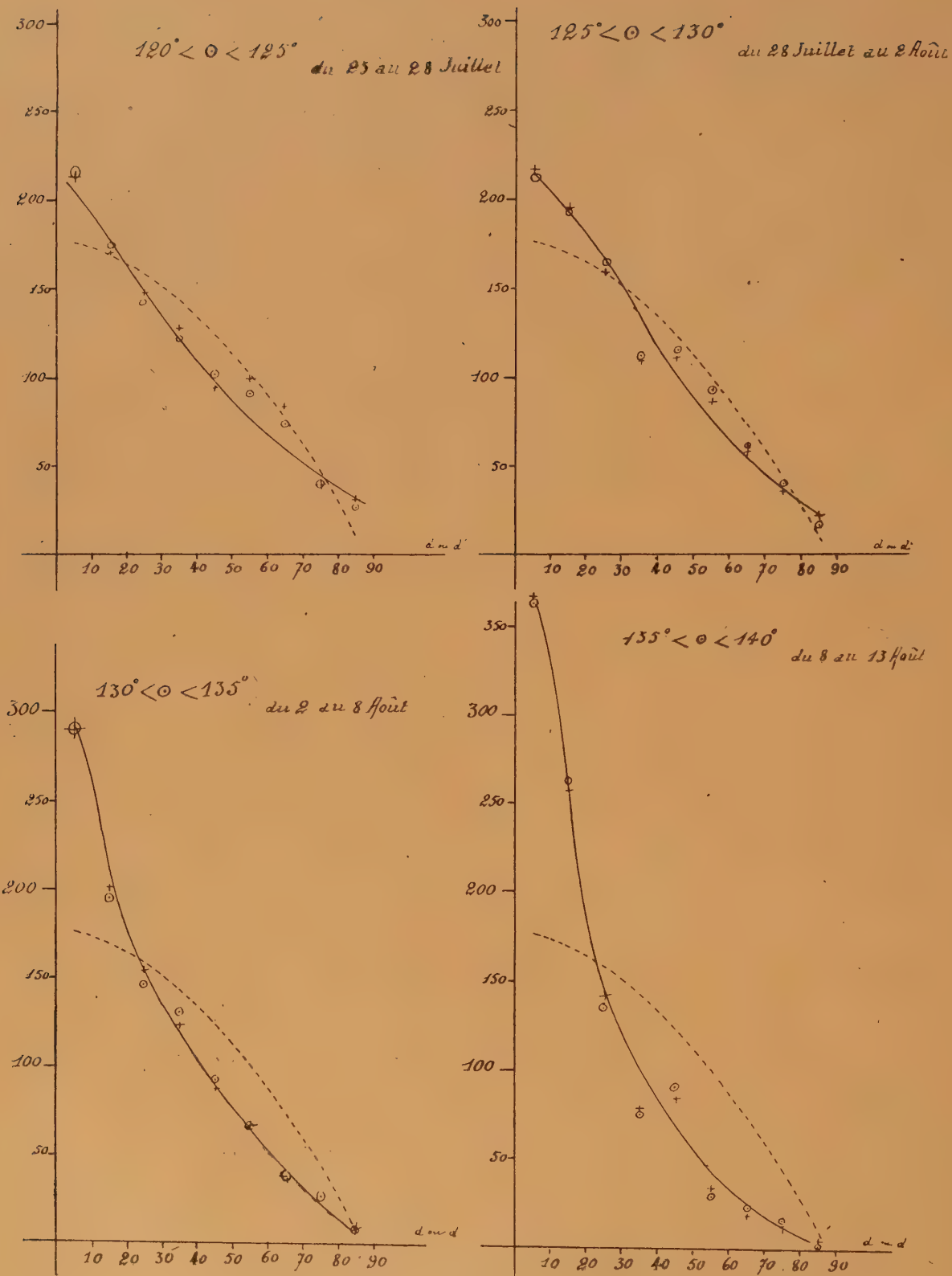


Fig. 9.

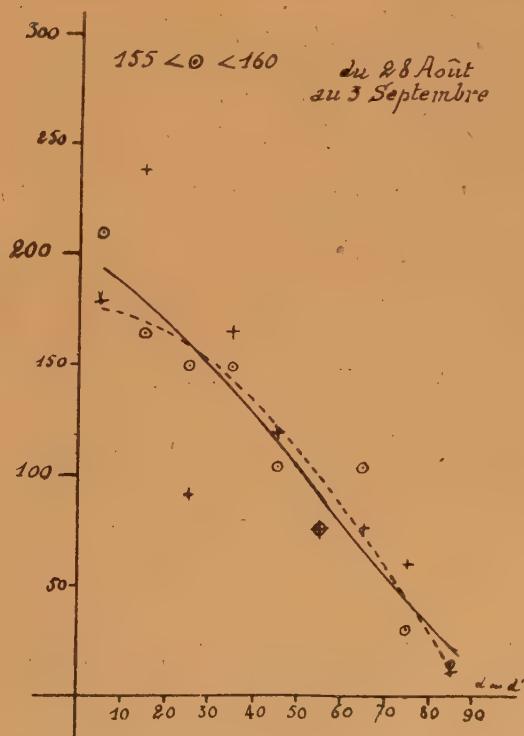
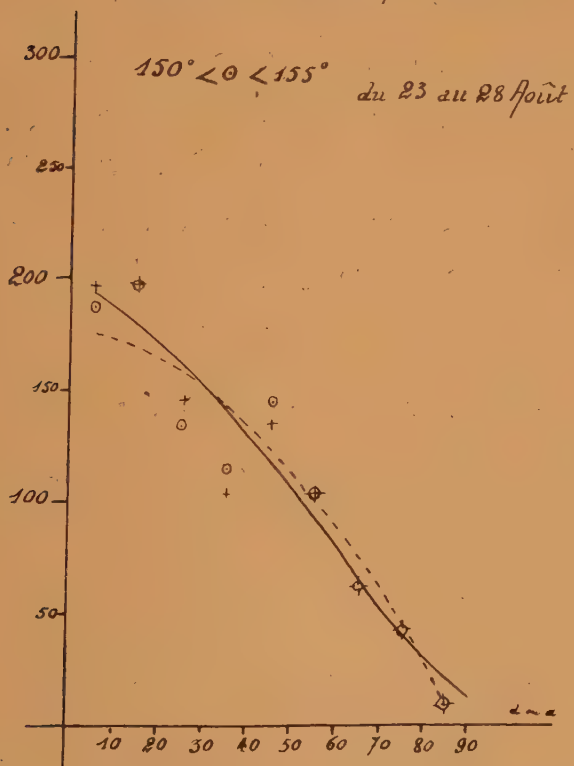
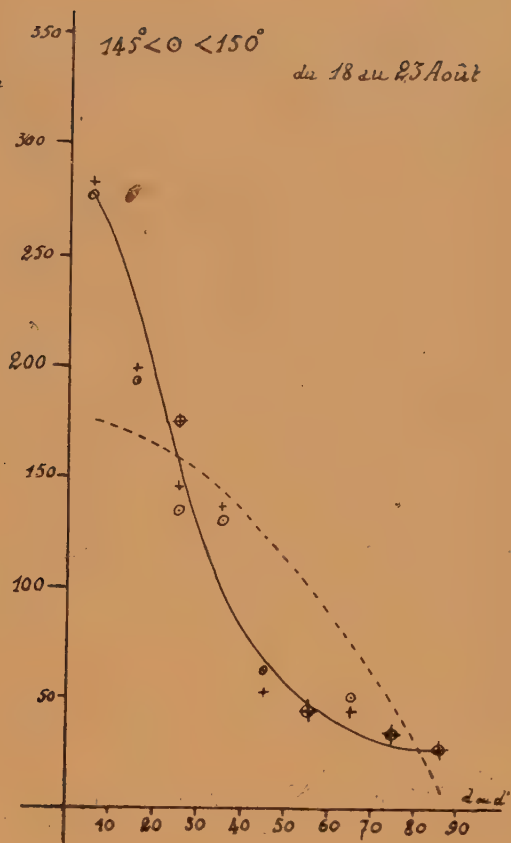
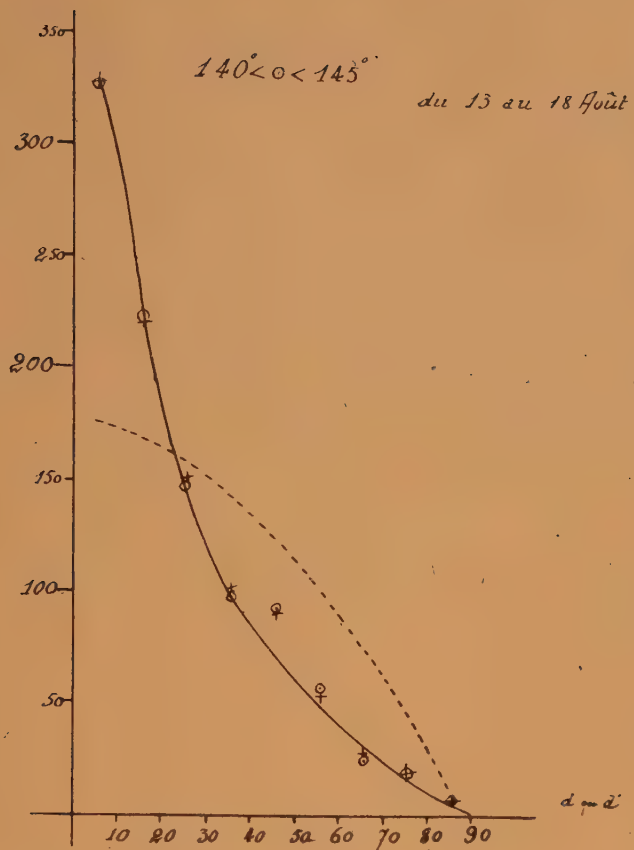


Fig. 9.

| 145° < ○ < 150°                   |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |       |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-------|
| <i>d</i> ou <i>d'</i> .....       | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( <i>d</i> ).....  | 49  | 43  | 31  | 23  | 11  | 8   | 9   | 6  | 5  |    | 176   |
| Nombre observé ( <i>d'</i> )..... | 50  | 35  | 31  | 24  | 9   | 8   | 8   | 6  | 5  |    | 176   |
| Nombre théorique .....            | 31  | 30  | 28  | 25  | 22  | 18  | 13  | 8  | 2  |    | 177   |
| Pour 1000                         |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |       |
| Nombre observé ( <i>d</i> ).....  | 277 | 194 | 175 | 130 | 62  | 45  | 51  | 34 | 28 |    | 996   |
| Nombre observé ( <i>d'</i> )..... | 282 | 198 | 175 | 136 | 51  | 45  | 45  | 34 | 28 |    | 994   |
| Nombre théorique .....            | 176 | 169 | 159 | 143 | 122 | 101 | 72  | 46 | 10 |    | 999   |
| 150° < ○ < 155°                   |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |       |
| <i>d</i> ou <i>d'</i> .....       | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( <i>d</i> ).....  | 18  | 19  | 13  | 11  | 14  | 10  | 6   | 4  | 1  |    | 96    |
| Nombre observé ( <i>d'</i> )..... | 19  | 19  | 14  | 10  | 13  | 10  | 6   | 4  | 1  |    | 96    |
| Nombre théorique .....            | 17  | 16  | 15  | 14  | 12  | 10  | 7   | 4  | 1  |    | 96    |
| Pour 1000                         |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |       |
| Nombre observé ( <i>d</i> ).....  | 188 | 198 | 135 | 115 | 146 | 104 | 63  | 42 | 10 |    | 1001  |
| Nombre observé ( <i>d'</i> )..... | 198 | 198 | 146 | 104 | 135 | 104 | 63  | 42 | 10 |    | 1000  |
| Nombre théorique .....            | 176 | 169 | 159 | 143 | 122 | 101 | 73  | 46 | 10 |    | 999   |
| 155° < ○ < 160°                   |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |       |
| <i>d</i> ou <i>d'</i> .....       | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70 | 80 | 90 | Total |
| Nombre observé ( <i>d</i> ).....  | 14  | 11  | 10  | 10  | 7   | 5   | 7   | 2  | 1  |    | 67    |
| Nombre observé ( <i>d'</i> )..... | 12  | 16  | 6   | 11  | 8   | 5   | 5   | 4  | 0  |    | 67    |
| Nombre théorique .....            | 12  | 11  | 11  | 10  | 8   | 7   | 5   | 3  | 1  |    | 68    |
| Pour 1000                         |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |       |
| Nombre observé ( <i>d</i> ).....  | 219 | 164 | 149 | 149 | 104 | 75  | 104 | 30 | 15 |    | 999   |
| Nombre observé ( <i>d'</i> )..... | 179 | 239 | 90  | 164 | 119 | 75  | 75  | 60 | 0  |    | 1001  |
| Nombre théorique .....            | 176 | 169 | 159 | 143 | 122 | 101 | 73  | 46 | 10 |    | 999   |

Au cours des comptages effectués pour la construction de ce tableau, les météores pour lesquels *d* ou *d'* étaient égaux à un nombre entier de dizaines (10°, 20°...) ont été répartis par moitié dans les deux intervalles adjacents. Ainsi la moitié de ceux pour lesquels on trouvait *d* = 10° furent classés dans l'intervalle 0° — 10°, l'autre moitié dans l'intervalle 10° — 20°.

Les graphiques de la figure (9) illustrent les résultats de ce tableau. Nous y avons porté en abscisses les valeurs de *d* ou de *d'* et en ordonnées les nombres de météores correspondants. Mais afin de rendre plus facile la comparaison de ces graphiques, nous avons exprimé les nombres observés et les nombres théoriques en tant pour mille. Ainsi, pour le cas 120° < ○ < 125°, les nombres observés et théoriques ont été multipliés par le coefficient  $\frac{1000}{550}$ . Ces nombres observés et théoriques, exprimés en tant pour 1000, se trouvent dans les trois dernières lignes des tableaux partiels du tableau IV. Dans les pointages sur les graphiques, le signe ○ concerne les fréquences des *d*, le signe + les fréquences des *d'*, un signe

⊕ indique que les fréquences des  $d$  et des  $d'$  sont les mêmes. Les courbes de fréquence « observées » (courbes en trait plein) ont été tracées en utilisant uniquement les signes  $\odot$  relatifs aux  $d$ . On voit que les signes  $+$  relatifs aux  $d'$  se groupent également bien sur ces courbes, même pour des dates éloignées du maximum des Perséides, alors que nos radiants sont distants de plusieurs degrés de ceux de DENNING.

Les courbes de fréquence théoriques (correspondant au cas où il n'y aurait que des météores sporadiques) sont tracées en trait interrompu. La répartition observée se montre très différente de la répartition théorique pour  $135^\circ < \odot < 140^\circ$ , c'est-à-dire à l'époque du maximum des Perséides, l'écart diminuant progressivement à mesure que l'on s'éloigne de part et d'autre de ce maximum. En ce qui concerne les dates antérieures, la différence est encore nette pour  $120^\circ < \odot < 125^\circ$ , c'est-à-dire du 23 au 28 juillet, ce qui démontre l'existence des Perséides en juillet, contrairement à l'opinion de BREDICHINE. Le petit nombre de météores contenus dans le catalogue de HEIS pour les dates antérieures au 23 juillet ne permet pas de tirer des conclusions relatives à cette dernière époque.

En ce qui concerne les dates postérieures au maximum des Perséides, l'écart entre la répartition observée et la répartition théorique est encore très net pour la période du 18 au 23 août ( $145^\circ < \odot < 150^\circ$ ). Par contre les courbes théoriques et observées diffèrent très peu pour la période du 23 au 28 août et pour celle du 28 août au 3 septembre, et l'examen des trois premières lignes des tableaux partiels du tableau IV pour  $150^\circ < \odot < 155^\circ$  et pour  $155^\circ < \odot < 160^\circ$  montre encore mieux la concordance.

Nous concluons donc à l'existence des Perséides durant toute la période allant du 23 juillet au 23 août, sans qu'il nous soit possible de formuler d'opinion sur la période antérieure au 23 juillet.

## CHAPITRE II

### ÉTUDE PHOTOGRAPHIQUE DU DÉPLACEMENT DU RADIANT DES PERSÉIDES

11. Les observations visuelles de météores sont forcément imprécises à cause de l'extrême brièveté du phénomène. Il en résulte que les météores portés sur les cartes ne convergent jamais rigoureusement en un point, mais s'entre-croisent dans une région limitée de la sphère céleste. Le jugement de l'observateur intervient alors pour déterminer le centre de cette région qui est pris comme radiant. Une telle détermination ne saurait être considérée comme rigoureuse, et, pour obtenir avec précision le déplacement du radiant, nous devons nous adresser à des observations photographiques.

Des photographies de météores ont été maintes fois obtenues au cours de poses destinées à l'établissement de la Carte du Ciel ou à la recherche d'astéroïdes, un météore ayant passé par hasard dans le champ de l'astrographe. S. AREND et J. HUNAERTS <sup>(1)</sup> de l'Observatoire Royal de Belgique ont insisté sur l'intérêt que présentait une recherche systématique de ces traînées et l'Observatoire de Harvard College a publié deux catalogues de telles photographies de météores <sup>(2)</sup>. D'autres photographies de météores ont été obtenues par des observateurs qui se proposaient ce but même. C'est ainsi qu'ELKIN a obtenu à l'Observatoire de l'Université Yale, dans les années 1893 à 1909, 118 traînées dont Ch. P. OLIVIER <sup>(3)</sup> a dressé le catalogue. Nous avons utilisé ces trois catalogues dans nos recherches ainsi que des traînées météoriques mentionnées dans divers articles.

12. — *Détermination du radiant d'un essaim de météores.* — Nous avons déjà indiqué que, lors d'une pluie d'étoiles filantes, les prolongements des traînées météoriques ne passent pas tous exactement par un point radiant unique. Ce phénomène ne se produit pas seulement dans les observations visuelles, mais aussi dans les observations photographiques où il correspond alors à un fait réel. Par suite de la constitution des courants et des perturbations planétaires, les météores d'un même essaim ne se meuvent pas, au moment de leur rencontre avec la Terre sur des trajectoires rigoureusement parallèles, (les seules qui donneraient un radiant ponctuel), de sorte qu'il n'y a pas un point radiant, mais une aire de radiation à l'intérieur de laquelle s'entre-croisent les prolongements des traînées. On est alors conduit, comme dans le cas des observations visuelles à prendre comme radiant le centre de cette région, et le choix de ce point reste en partie

---

<sup>(1)</sup> S. AREND et J. HUNAERTS. — L'Utilisation des trajectoires d'étoiles filantes figurant sur les clichés pris pour l'observation d'astéroïdes. *Bulletin Astronomique de l'Observatoire Royal de Belgique à Uccle*. Vol. II, n° 5, p. 114, 1936.

<sup>(2)</sup> *Annals of the astronomical observatory of Harvard College*, vol. 87, part. 3, 1931 et vol. 82, part. 8, 1937.

<sup>(3)</sup> Ch. P. OLIVIER. — Results of the Yale photographic meteor work. *Astronomical Journal*, vol. 46, p. 41, 1937.

arbitraire. S. AREND, HUNAERTS <sup>(1)</sup> et G. C. FLAMMARION <sup>(2)</sup> ont indiqué un procédé fondé sur l'emploi de la méthode des moindres carrés, qui permet de calculer les coordonnées du radiant quand on connaît les coordonnées des extrémités des diverses traînées météoriques. Soient R le radiant et AB une traînée météorique,  $\alpha_1 \delta_1$  et  $\alpha_2 \delta_2$  les coordonnées équatoriales des extrémités A et B de la traînée. Les composantes des vecteurs  $\vec{OA}$  et  $\vec{OB}$  sur des axes dirigés respectivement vers le point vernal, vers le point de l'équateur situé à  $90^\circ$  du point vernal, et vers le pôle céleste nord sont :

$$(1) \quad \vec{OA} \begin{cases} \cos \delta_1 \cos \alpha_1 = x_1 \\ \cos \delta_1 \sin \alpha_1 = y_1 \\ \sin \delta_1 = z_1 \end{cases} \quad \vec{OB} \begin{cases} \cos \delta_2 \cos \alpha_2 = x_2 \\ \cos \delta_2 \sin \alpha_2 = y_2 \\ \sin \delta_2 = z_2 \end{cases}$$

Soit P le pôle de la traînée. Le produit vectoriel  $\vec{OA} \wedge \vec{OB}$ , de composantes

$$(2) \quad \begin{cases} u = y_1 z_2 - z_1 y_2 \\ v = z_1 x_2 - x_1 z_2 \\ w = x_1 y_2 - y_1 x_2 \end{cases}$$

est dirigé suivant OP et le vecteur  $\vec{OP}$  a pour composantes :

$$(3) \quad \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} \quad \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} \quad \frac{w}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}}$$

Si la traînée AB passait rigoureusement par le radiant R, le produit scalaire  $\vec{OP} \cdot \vec{OR}$  serait nul. Puisqu'elle ne passe pas rigoureusement par ce point, nous avons :

$$\vec{OP} \cdot \vec{OR} = \cos \widehat{POR}.$$

Si  $\varepsilon$  désigne la distance RH du point R à la traînée prolongée, on a

$$\varepsilon = 90^\circ - \widehat{POR}$$

d'où :

$$\vec{OP} \cdot \vec{OR} = \sin \varepsilon.$$

Si  $x, y, z$  désignent les coordonnées rectilignes du point R, cette dernière équation s'écrit :

$$(4) \quad \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} x + \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} y + \frac{w}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} z = \sin \varepsilon.$$

Nous avons naturellement,  $\alpha$  et  $\delta$  désignant les coordonnées équatoriales du radiant :

$$(5) \quad \begin{cases} x = \cos \delta \cos \alpha, \\ y = \cos \delta \sin \alpha, \\ z = \sin \delta. \end{cases}$$

Nous devons encore faire remarquer que :

$$|\vec{OA} \wedge \vec{OB}| = |\vec{OA}| \cdot |\vec{OB}| \cdot |\sin \widehat{AOB}| = |\sin \widehat{AOB}|,$$

c'est-à-dire que, si  $l$  désigne la longueur de la traînée photographiée, on a :

$$(6) \quad \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} = \sin l.$$

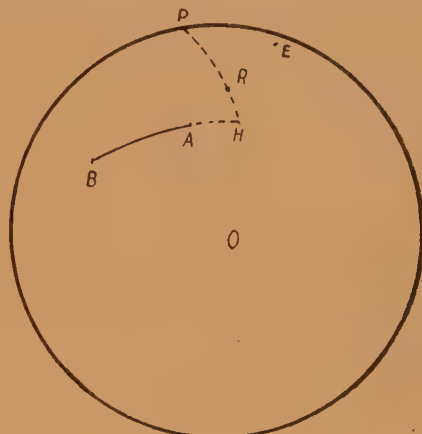


Fig. 10

<sup>(1)</sup> Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie Royale de Belgique ; 1934, XX, 6, p. 258.

<sup>(2)</sup> L'Astronomie, 1936, p. 230.

Si l'on dispose de plusieurs traînées photographiées, on pourra écrire autant d'équations de la forme (4). En égalant à 0 les seconds membres de ces équations et en les résolvant par la méthode des moindres carrés, on en déduit les valeurs les plus probables de  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , d'où l'on tire  $\alpha$  et  $\delta$  par les équations (5). Les résidus des équations (4) donnent les sinus des distances  $\varepsilon$  et permettent, par suite, une étude de la dispersion des traînées météoriques autour du radiant. Cette méthode a été appliquée avec succès, par les auteurs cités plus haut, à l'essai des Draconides du 9 octobre 1933.

13. — *Adaptation de la méthode précédente à l'étude des Perséides.* — Les coordonnées équatoriales ne conviennent pas bien à l'étude des Perséides puisque les caractères essentiels de cet essaim s'expriment de la manière la plus simple en coordonnées écliptiques. On sait <sup>(1)</sup> que, si  $\lambda$  et  $\beta$  désignent la longitude et la latitude du radiant et  $\odot$  la longitude du Soleil, on a d'après DENNING :

$$\begin{aligned}\lambda - \odot &= -77^\circ \\ \beta &= +38^\circ,\end{aligned}$$

pendant toute la période d'activité de l'essai. Nous adopterons un système de coordonnées écliptiques (correspondant à l'écliptique et à l'équinoxe moyen 1900,0), mais nous placerons l'origine des longitudes, non plus au point vernal, mais pour chaque météore à la position occupée par le Soleil au moment de son observation. Les coordonnées écliptiques  $\lambda$  et  $\beta$  de tout point de la sphère céleste seront remplacées dans notre système par  $\lambda' = \lambda - \odot$  et  $\beta$  et l'on aura toujours pour le point radiant de DENNING :  $\lambda' = -77^\circ$ ,  $\beta = +38^\circ$ . Les raisonnements du paragraphe précédent resteront valables dans ce nouveau système de coordonnées ; les équations (1) et (5) deviendront :

$$(7) \quad \begin{cases} x_1 = \cos \lambda'_1 \cos \beta_1 & x_2 = \cos \lambda'_2 \cos \beta_2 \\ y_1 = \sin \lambda'_1 \cos \beta_1 & y_2 = \sin \lambda'_2 \cos \beta_2 \\ z_1 = \sin \beta_1 & z_2 = \sin \beta_2 \end{cases}$$

$$(8) \quad \begin{cases} x = \cos \lambda' \cos \beta \\ y = \sin \lambda' \cos \beta \\ z = \sin \beta. \end{cases}$$

Les formules (2) (3) (4) (6) ne subissent pas de changement.

Considérons maintenant la position donnée par DENNING comme une première approximation seulement et envisageons une variation possible des coordonnées  $\lambda'$  et  $\beta$  du radiant avec le temps  $t$ , c'est-à-dire avec le nombre de jours et fraction de jour écoulés (sans prendre égard à l'année) depuis la date du maximum de Perséides (que nous pouvons toujours fixer au 10 août à 0 heure <sup>(2)</sup>). Les coordonnées  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , du radiant ne seront plus des constantes mais des fonctions de  $t$ . En limitant les développements de ces fonctions à leurs premiers termes, nous pouvons écrire :

$$(9) \quad \begin{cases} x = x_0 + \mu t \\ y = y_0 + \nu t \\ z = z_0 + \sigma t, \end{cases}$$

$x_0 y_0 z_0$  désignant les coordonnées rectilignes du radiant pour  $t = 0$ .

Mais nous devons avoir :

$$9 \text{ bis} \quad \begin{cases} x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = 1 \\ x^2 + y^2 + z^2 = 1. \end{cases}$$

Or les équations (9) donnent :

$$x^2 + y^2 + z^2 = x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 + 2t(x_0\mu + y_0\nu + z_0\sigma) + (\mu^2 + \nu^2 + \sigma^2)t^2,$$

et, si l'on néglige encore les termes en  $\mu^2$ ,  $\nu^2$ ,  $\sigma^2$ , il vient :

$$(10) \quad x_0\mu + y_0\nu + z_0\sigma = 0.$$

<sup>(1)</sup> Voir paragraphe 1.

<sup>(2)</sup> Une telle définition du temps est insuffisante. Nous donnerons plus loin (paragraphe 15) une définition de  $t$  qui conviendra mieux à notre problème.

Mais la position donnée par DENNING n'est qu'une première approximation ; nous devons encore poser :

$$(II) \quad \begin{cases} x_0 = X_0 + \xi \\ y_0 = Y_0 + \eta \\ z_0 = Z_0 + \zeta, \end{cases}$$

$X_0$   $Y_0$   $Z_0$  désignant les coordonnées rectilignes du radiant d'après DENNING, et  $\xi$   $\eta$   $\zeta$  de petites corrections qui doivent leur être apportées. Nous avons donc :

$$\begin{aligned} X_0 &= \cos 77^\circ \cos 38^\circ = + 0,1773 \\ Y_0 &= - \sin 77^\circ \cos 38^\circ = - 0,7678 \\ Z_0 &= \sin 38^\circ = + 0,6157. \end{aligned}$$

La condition  $x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = 1$ , et les équations (II) donnent :

$$1 = X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2 + 2(X_0\xi + Y_0\eta + Z_0\zeta) + \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2,$$

et en négligeant les carrés de  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  :

$$(I3) \quad X_0\xi + Y_0\eta + Z_0\zeta = 0.$$

Les équations (9) et (II) permettent d'écrire les coordonnées du radiant sous la forme

$$(I4) \quad \begin{cases} x = X_0 + \xi + \mu t \\ y = Y_0 + \eta + \nu t \\ z = Z_0 + \zeta + \tau t. \end{cases}$$

et l'équation (4) s'écrit :

$$(I5) \quad \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} (X_0 + \xi + \mu t) + \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} (Y_0 + \eta + \nu t) + \frac{w}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} (Z_0 + \zeta + \tau t) = \sin \epsilon$$

ou, en posant :

$$(I6) \quad \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} = U \quad \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} = V \quad \frac{w}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} = W,$$

$$(I7) \quad U\xi + V\eta + W\zeta + U\mu + V\nu + W\tau + UX_0 + VY_0 + WZ_0 = \sin \epsilon.$$

Mais les équations (I0) et (I3) permettent de ramener le nombre des inconnues de 6 à 4. La première de ces équations donne :

$$\eta = - \frac{X_0\mu + Z_0\tau}{Y_0}$$

ou :

$$\eta = - \frac{(X_0 + \xi)\mu + (Z_0 + \zeta)\tau}{Y_0 + \eta}$$

dont la partie principale est :

$$(I8) \quad \eta = - \frac{X_0\mu + Z_0\tau}{Y_0}$$

L'équation (I3) donne :

$$(I9) \quad \eta = - \frac{X_0\xi + Z_0\tau}{Y_0}$$

et l'équation (I7) s'écrit :

$$U\xi - V \frac{X_0\xi + Z_0\tau}{Y_0} + W\tau + U\mu - Vt \frac{X_0\mu + Z_0\tau}{Y_0} + W\tau + UX_0 + VY_0 + WZ_0 = \sin \epsilon$$

ou :

$$(20) \quad \left( U - \frac{VX_0}{Y_0} \right) \xi + \left( W - \frac{VZ_0}{Y_0} \right) \zeta + \left( U - \frac{VX_0}{Y_0} \right) t\mu + \left( W - \frac{VZ_0}{Y_0} \right) t\sigma + UX_0 + VY_0 + WZ_0 = \sin \varepsilon.$$

14. — *Effets de l'attraction zénithale et de l'aberration diurne.* — Tous les calculs de ce chapitre ont été conduits de manière à obtenir sur  $\varepsilon$  une précision de 0°,1, précision du catalogue le moins précis. Il est, par suite, impossible de négliger les effets de l'attraction zénithale et de l'aberration diurne qui peuvent atteindre un degré dans le cas des Perséides. Toutefois la correction correspondante ne peut être faite sur les coordonnées des extrémités des traînées puisque nous ne pouvons connaître que le déplacement que ces effets impriment au radiant, d'ailleurs inconnu, de chaque météore; et même si nous connaissions ce radiant le problème resterait indéterminé car il existe une infinité de manières de modifier la position d'un segment de grand cercle AB dont le prolongement passait primitivement par un point R (fig. 11) pour qu'il passe ensuite par un point R'.

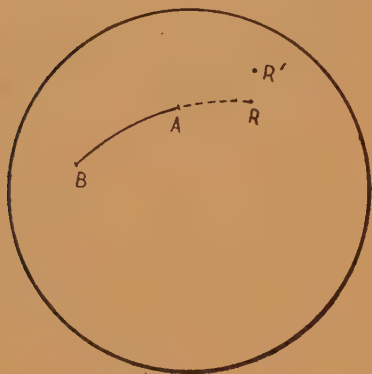


Fig. 11

Pour cette raison, au lieu de *libérer* les extrémités des traînées des effets de l'attraction zénithale et de l'aberration diurne nous *affecterons*, au contraire, de ces effets, le radiant théorique défini par les équations (14). Les coordonnées de ce radiant s'écriront :

$$(21) \quad \begin{cases} x = X_0 + \xi + \mu t + b \\ y = Y_0 + \eta + \nu t + c \\ z = Z_0 + \zeta + \sigma t + d \end{cases}$$

$b, c, d$  représentant les modifications apportées aux coordonnées  $x, y, z$  du radiant théorique par l'attraction zénithale et l'aberration diurne. L'équation (15) s'écrit alors :

$$(21 \text{ bis}) \quad \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} (X_0 + \xi + \mu t + b) + \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} (Y_0 + \eta + \nu t + c) + \frac{w}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} (Z_0 + \zeta + \sigma t + d) = \sin \varepsilon.$$

et l'équation (17) devient :

$$U\xi + V\eta + W\zeta + Ut\mu + Vt\nu + Wt\sigma + UX_0 + VY_0 + WZ_0 + Ub + Vc + Wd = \sin \varepsilon.$$

En remplaçant encore dans cette équation  $\eta$  et  $\nu$  par leurs valeurs (19) et (18), il vient :

$$(22) \quad \left( U - V \frac{X_0}{Y_0} \right) \xi + \left( W - \frac{VZ_0}{Y_0} \right) \zeta + \left( U - V \frac{X_0}{Y_0} \right) t\mu + \left( W - \frac{VZ_0}{Y_0} \right) t\sigma + UX_0 + VY_0 + WZ_0 + Ub + Vc + Wd = \sin \varepsilon.$$

Pour calculer l'attraction zénithale, nous avons besoin de la distance zénithale du radiant théorique. Ce dernier angle nous est donné par la formule :

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (H - \alpha),$$

$\alpha$  et  $\delta$  désignant les coordonnées équatoriales du radiant,  $H$  le temps sidéral local,  $\varphi$  la latitude géographique du lieu d'observation. Nous ne connaissons pas les coordonnées  $\alpha$  et  $\delta$  (dont la détermination est précisément le but de notre travail), mais nous pouvons sans grande erreur leur substituer les valeurs de  $\alpha$  et de  $\delta$  données par DENNING dans son éphéméride, puisque nous considérons cette dernière comme une première approximation. D'autre part, la période de révolution des Perséides ne nous est pas connue pour les météores qui n'apparaissent pas au moment du maximum (1). Nous admettrons que les orbites de toutes les Perséides diffèrent peu de la parabole et nous utiliserons le tableau donné par Schiaparelli pour le calcul de l'attraction zénithale dans le cas d'un météore qui, lors de sa rencontre avec la Terre est

(1) Et encore, pour ceux-ci, la période généralement admise de 108 ans n'est pas déterminée avec une grande certitude. Voir OLIVIER. — *Meteors* p. 59 et SCHIAPARELLI. — *Sternschnuppen* p. 54.

animé de la vitesse parabolique (1). Ce tableau donne l'attraction zénithale  $\Delta z$  (2), connaissant la distance zénithale  $z$  du radiant et la distance angulaire  $E$  de ce point à l'apex terrestre. Pour calculer  $E$ , considérons, sur l'écliptique (Fig. 12) l'apex A et le pied H du grand cercle perpendiculaire à l'écliptique mené par R. La longitude du point A est  $\odot - 90^\circ$ , et l'on a :

$$\cos E = \cos (\lambda - \odot + 90^\circ) \cos \beta$$

ou :

$$\cos E = -\cos \beta \sin (\lambda - \odot).$$

Puisque l'on a toujours  $\beta = 38^\circ$ ,  $\lambda - \odot = -77^\circ$ ,  $E$  est une quantité constante que l'on trouve égale à  $39^\circ,8$ . On tire alors du tableau de Schiaparelli :

|                    |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $z = 0^\circ$      | $10^\circ$ | $20^\circ$ | $30^\circ$ | $40^\circ$ | $50^\circ$ | $60^\circ$ | $70^\circ$ | $80^\circ$ | $90^\circ$ |
| $\Delta z = 0^00'$ | $0^05'$    | $0^011'$   | $0^016'$   | $0^022'$   | $0^028'$   | $0^035'$   | $0^042'$   | $0^051'$   | $1^00'$    |

$\Delta z$  connu, nous devons en déduire les variations correspondantes  $\Delta \alpha_1$  et  $\Delta \delta_1$  des coordonnées équatoriales du radiant. Soit Z le zénith du lieu d'observation, P le pôle, R le radiant primitif et R' le radiant modifié par l'attraction zénithale ; désignons par  $\phi$  l'angle parallactique ; nous avons : (Fig. 13).

$$(24) \quad \Delta \delta_1 = \Delta z \cos \phi,$$

et dans le triangle sphérique PR'R :

$$\frac{|\Delta \alpha_1|}{\Delta z} = \frac{\sin \phi}{\cos \delta}$$

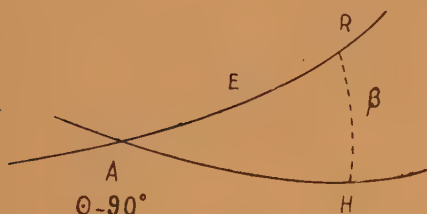


Fig. 12

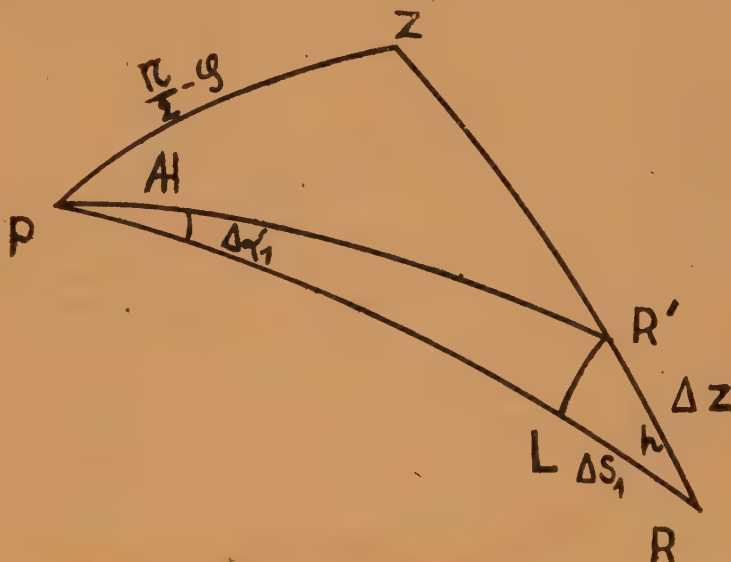


Fig. 13

ou :

(25)

$$\Delta \alpha_1 = \chi \Delta z \frac{\sin \phi}{\cos \delta}$$

avec

$$\chi = +1 \text{ si le radiant a déjà passé le méridien}$$

$$\chi = -1 \text{ » » » n'a pas encore passé le méridien,}$$

car le point R' est toujours plus rapproché du méridien que le point R.

$\phi$  est donné, dans le triangle sphérique PZR, par les relations :

$$\sin \phi = \frac{\cos \varphi}{\sin z} \sin AH$$

$$\sin z \cos \phi = \cos \delta \sin \varphi - \cos \varphi \sin \delta \cos AH.$$

AH désignant l'angle horaire du radiant ( $AH = H - \alpha$ ).

Cette dernière équation montre que l'on peut prendre  $\phi$  inférieur à  $90^\circ$  si

$$\cos \delta \sin \varphi - \cos \varphi \sin \delta \cos AH > 0$$

(1) SCHIAPARELLI. — *Sternschnuppen*, p. 109 et OLIVIER. — *Meteors*, p. 169.

(2) Ne pas considérer  $\Delta z$  comme un accroissement de la distance zénithale  $z$  du radiant, mais seulement comme la valeur de l'arc dont le radiant est déplacé vers le zénith.

ou si

$$\cos \angle H < \cotg \delta \cdot \tg \varphi$$

(car  $\delta$  et  $\cos \varphi$  sont toujours positifs)

Quant aux effets de l'aberration diurne, ils sont donnés en degrés par les formules classiques <sup>(1)</sup> :

$$(26) \quad \begin{cases} \Delta \alpha_2 = \frac{26,57}{w} \cos \varphi \sec \delta \cos \angle H \\ \Delta \delta_2 = \frac{26,57}{w} \cos \varphi \sin \delta \sin \angle H \end{cases}$$

$w$  désigne la vitesse géocentrique de météore, non accélérée par l'attraction terrestre. Cette vitesse s'obtient par composition de la vitesse héliocentrique  $\vec{v}$  du météore et de la vitesse  $V$  de la Terre. La figure 14, où  $AB$  représente le vecteur vitesse héliocentrique  $\vec{v}$  et  $\vec{AC'}$  le vecteur opposé au vecteur vitesse  $\vec{V}$  de la Terre, montre que :

$$v^2 = w^2 + V^2 - 2Vw \cos E,$$

ou

$$w^2 - 2Vw \cos E + V^2 - v^2 = 0$$

d'où :

$$(27) \quad w = V \cos E + \sqrt{V^2 \cos^2 E + v^2 - V^2} = V \cos E + \sqrt{v^2 - V^2 \sin^2 E}.$$

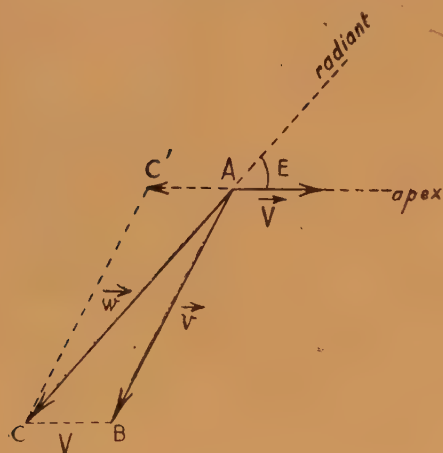


Fig. 14

Le signe + est le seul qui convienne, car le météore étant animé d'une vitesse supposée égale à la vitesse parabolique  $v$  est supérieur à  $V$  et l'autre racine serait négative. Si l'on prend pour unité la vitesse de la Terre,  $v = \sqrt{2}$  et

$$w = \cos E + \sqrt{2 - \sin^2 E}.$$

$E$  étant toujours égal à  $39^{\circ},8$ ,  $w$  est une constante égale à :

$$0,7683 + \sqrt{2 - 0,6401^2} = 2,03,$$

ou, en kilomètres par seconde :

$$29,6 \times 2,03 = 60,1,$$

en adoptant  $29,6$  km/sec pour vitesse orbitale de la Terre. On obtient ainsi :

$$(28) \quad \begin{cases} \Delta \alpha_2 = 0,442 \cos \varphi \sec \delta \cos \angle H \\ \Delta \delta_2 = 0,442 \cos \varphi \sin \delta \sin \angle H. \end{cases}$$

Les variations des coordonnées équatoriales du radiant dues aux effets combinés de l'attraction zénithale et de l'aberration diurne s'écrivent :

$$(29) \quad \begin{cases} \Delta \alpha = \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2 \\ \Delta \delta = \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2. \end{cases}$$

Nous devons passer maintenant, de la connaissance de  $\Delta \alpha$  et  $\Delta \delta$ , au calcul de  $b c d$ . Pour cela différencions les équations (8) ; nous obtenons :

$$\begin{aligned} dx &= -\cos \beta \sin \lambda' d\lambda' - \cos \lambda' \sin \beta d\beta \\ dy &= \cos \beta \cos \lambda' d\lambda' - \sin \lambda' \sin \beta d\beta \\ dz &= \cos \beta d\beta, \end{aligned}$$

<sup>(1)</sup> Cf. SCHIAPARELLI. — *Sternschnuppen*, p. 119, et Ch. P. OLIVIER. — *Meteor*, p. 169. Ne pas oublier que les formules données par Olivier et qui comportent des signes — devant les seconds nombres concernent le passage du radiant affecté de l'aberration diurne au radiant corrigé de cette aberration alors que nos formules concernent le passage inverse.

ou, puisque  $\lambda' = \lambda - \odot$  et  $d\lambda' = d\lambda$  (car les coordonnées du radiant sont seules modifiées, celles du Soleil restant inchangées) :

$$\begin{aligned} dx &= -\cos \beta (\sin \lambda \cos \odot - \sin \odot \cos \lambda) d\lambda - (\cos \lambda \cos \odot + \sin \lambda \sin \odot) \sin \beta d\beta \\ dy &= \cos \beta (\cos \lambda \cos \odot + \sin \odot \sin \lambda) d\lambda - (\sin^2 \lambda \cos \odot - \cos \lambda \sin \odot) \sin \beta d\beta \\ dz &= \cos \beta d\beta \end{aligned}$$

ou

$$(30) \quad \begin{cases} dx = -\cos \odot [\cos \beta \sin \lambda d\lambda + \sin \beta \cos \lambda d\beta] + \sin \odot [\cos \beta \cos \lambda d\lambda - \sin \beta \sin \lambda d\beta] \\ dy = \cos \odot [\cos \beta \cos \lambda d\lambda - \sin \beta \sin \lambda d\beta] + \sin \odot [\cos \beta \sin \lambda d\lambda + \sin \beta \cos \lambda d\beta] \\ dz = \cos \beta d\beta. \end{cases}$$

Mais les quantités  $\lambda$  et  $\beta$  sont données en fonction de  $\alpha$  et de  $\delta$  par les formules :

$$(31) \quad \begin{cases} \sin \beta = \cos \omega \sin \delta - \sin \omega \cos \delta \sin \alpha \\ \cos \lambda \cos \beta = \cos \alpha \cos \delta \\ \sin \lambda \cos \beta = \sin \omega \sin \delta + \cos \omega \cos \delta \sin \alpha, \end{cases}$$

$\omega$  désignant l'obliquité de l'écliptique.

En différentiant les équations (31) on obtient :

$$\begin{aligned} \cos \beta d\beta &= -\sin \omega \cos \delta \cos \alpha d\alpha + (\cos \omega \cos \delta + \sin \omega \sin \alpha \sin \delta) d\delta \\ \sin \lambda \cos \beta d\lambda + \sin \beta \cos \lambda d\beta &= \cos \delta \sin \alpha d\alpha + \cos \alpha \sin \delta d\delta \\ \cos \lambda \cos \beta d\lambda - \sin \beta \sin \lambda d\beta &= \cos \omega \cos \delta \cos \alpha d\alpha + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) d\delta. \end{aligned}$$

Les premiers membres des deux dernières équations ci-dessus ne sont autres que les quantités entre crochets figurant dans les deux premières équations (30). Ces équations s'écrivent donc :

$$\begin{aligned} dx &= -\cos \odot [\sin \alpha \cos \delta d\alpha + \cos \alpha \sin \delta d\delta] + \sin \odot [\cos \omega \cos \delta \cos \alpha d\alpha + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) d\delta] \\ dy &= \cos \odot [\cos \omega \cos \delta \cos \alpha d\alpha + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) d\delta] + \sin \odot [\cos \delta \sin \alpha d\alpha + \cos \alpha \sin \delta d\delta] \\ dz &= -\sin \omega \cos \delta \cos \alpha d\alpha + (\cos \omega \cos \delta + \sin \omega \sin \delta \sin \alpha) d\delta. \end{aligned}$$

Les expressions de  $dx$  et de  $dy$  peuvent encore s'écrire en groupant les facteurs de  $d\alpha$  et  $d\delta$  :

$$\begin{aligned} dx &= (-\sin \alpha \cos \delta \cos \odot + \cos \omega \cos \alpha \cos \delta \sin \odot) d\alpha + [-\cos \alpha \sin \delta \cos \odot + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) \sin \odot] d\delta \\ dy &= (\sin \alpha \cos \delta \sin \odot + \cos \omega \cos \alpha \cos \delta \cos \odot) d\alpha + [\cos \alpha \sin \delta \sin \odot + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) \cos \odot] d\delta \end{aligned}$$

Pour obtenir  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , il suffit de remplacer dans ces expressions  $d\alpha$  et  $d\delta$  par les équations 29. Nous aurons donc :

$$(32) \quad \begin{cases} b = (-\sin \alpha \cos \delta \cos \odot + \cos \omega \cos \alpha \cos \delta \sin \odot) \Delta\alpha + [-\cos \alpha \sin \delta \cos \odot + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) \sin \odot] \Delta\delta \\ c = (\sin \alpha \cos \delta \sin \odot + \cos \omega \cos \alpha \cos \delta \cos \odot) \Delta\alpha + [\cos \alpha \sin \delta \sin \odot + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) \cos \odot] \Delta\delta \\ d = -\sin \omega \cos \alpha \cos \delta \Delta\alpha + (\cos \omega \cos \delta + \sin \omega \sin \delta \sin \alpha) \Delta\delta. \end{cases}$$

Il résulte de la démonstration même que  $\Delta\alpha$  et  $\Delta\delta$  doivent être exprimés en radians.

**15. — Remarque sur la définition de  $t$ .** — Pour être rationnelle l'étude du déplacement du radiant doit être faite en fonction de la position de la Terre sur son orbite. Or la seule considération du nombre de jours écoulés depuis le 10 août est insuffisante pour remplir cette condition. Il y a, pour cela deux raisons : la première est que nous comptons le temps en années tropiques et que, par suite, à un an d'intervalle la terre n'occupe pas le même point de son orbite, comme ce serait le cas si l'on comptait les années sidérales. A un an d'intervalle les longitudes de la Terre, comptées à partir d'un équinoxe fixe diffèrent de  $50''{,}26$  ; les observations photographiques dont nous disposons s'échelonnant entre 1889 et 1937, il pourrait en résulter une erreur maximum de :

$$(1937 - 1889) \times 50''{,}26 = 2412 \text{ secondes,}$$

soit  $0^{\circ}{,}6$ , donc une erreur très supérieure à la précision de notre travail ( $0^{\circ}{,}1$ ). La deuxième raison d'abandonner la définition précédente de  $t$  est encore plus grave ; elle provient des années bissextiles : pour deux météores observés à la même

heure le 13 août 1903 et le 13 août 1904, par exemple, nous aurions, avec la définition précédente, la même valeur de  $t$  ; or, entre ces deux dates, il s'est écoulé, non pas 365 jours, mais 366 jours, ce qui cause une erreur égale à la variation de longitude de la Terre en un jour, soit un degré. Pour ces deux raisons,  $t$  sera défini de la manière suivante : soient  $L$ , la longitude de la Terre rapportée à l'écliptique et à l'équinoxe moyen 1900,0 au moment où le météore a été photographié, et  $L_0$  la longitude de la Terre (toujours rapportée à l'écliptique et à l'équinoxe moyen 1900,0) le 10 août 1900 à 0 heure ; nous poserons :

$$t = L - L_0.$$

Puisque l'on a toujours  $L = \odot + 180^\circ$ , on pourra encore écrire,  $\odot$  et  $\odot_0$  désignant respectivement les longitudes du Soleil (toujours rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyen 1900,0) au moment de l'observation du météore et le 10 août 1900 à 0 heure :

$$(33) \quad t = \odot - \odot_0.$$

Ainsi, à une même valeur de  $t$  correspondra, à plusieurs années de distance, la même position de la Terre sur son orbite. Il convient de remarquer qu'à la précision de nos calculs ( $0^{\circ},1$ ) la rotation de l'écliptique qui ne se monte qu'à 40 secondes par siècle peut être négligée. Dans tous les calculs ayant pour but de ramener les longitudes à l'équinoxe 1900,0, nous réduirons la précession des équinoxes à un déplacement uniforme du point vernal de  $50''$ , 26 par an, sur un écliptique supposé fixe.

16. — On pourra former autant d'équations de la forme (22) que l'on possèdera de traînées météoriques photographiées. En égalant à 0 les seconds membres de ces équations et en appliquant la méthode des moindres carrés, on calculera  $\xi \zeta \mu. \sigma$ . Les équations (18) et (19) donneront  $\eta$  et  $\nu$ . Pour plus de clarté, nous reproduisons ci-dessous le tableau des formules nécessaires au calcul des coefficients des équations (22).

#### TABLEAU RÉCAPITULATIF DES FORMULES

Signification des symboles :

Équinoxe 1900,0  $\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 \beta_1 \lambda_2 \beta_2 : \text{coordonnées écliptiques des extrémités des traînées} \\ \odot : \text{longitude du Soleil au moment de l'enregistrement du météore} \\ \odot_0 : \text{longitude du Soleil le 10 août 1900 à 0 heure} \end{array} \right.$   
 $t = \odot - \odot_0$   
 $\alpha \delta$  coordonnées équatoriales du radiant des Perséides d'après DENNING  
 $\varphi$  latitude du lieu d'observation  
 $H$  heure sidérale locale au moment de l'observation  
 $AH$  angle horaire du radiant de DENNING au moment de l'observation.

$$\begin{array}{lll} \lambda'_1 = \lambda_1 - \odot & \lambda'_2 = \lambda_2 - \odot & \\ x_1 = \cos \lambda'_1 \cos \beta_1 & x_2 = \cos \lambda'_2 \cos \beta_2 & \\ y_1 = \sin \lambda'_1 \cos \beta_1 & y_2 = \sin \lambda'_2 \cos \beta_2 & \\ z_1 = \sin \beta_1 & z_2 = \sin \beta_2 & \\ u = y_1 z_2 - z_1 y_2 & v = z_1 x_2 - x_1 z_2 & w = x_1 y_2 - y_1 x_2 \\ U = \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} & V = \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} & W = \frac{w}{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}} \\ X_0 = + 0,1773 & Y_0 = - 0,7678 & Z_0 = + 0,6157 \\ X_0 & Y_0 & Z_0 \\ \frac{X_0}{Y_0} = - 0,2309 & \frac{Z_0}{Y_0} = - 0,8019 & \\ t = \odot - \odot_0 & & \end{array}$$

$$\left( U - V \frac{X_0}{Y_0} \right) \xi + \left( W - V \frac{Z_0}{Y_0} \right) \zeta + \left( U - V \frac{X_0}{Y_0} \right) t^2 + \left( W - V \frac{Z_0}{Y_0} \right) t \sigma + UX_0 + VY_0 + WZ_0 + Ub + Vc + Wd = 0.$$

Calcul de  $b$ ,  $c$ ,  $d$ .

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (H - \alpha)$$

$$AH = H - \alpha$$

$$\sin p = \frac{\cos \varphi}{\sin z} \sin |AH|$$

$$\begin{array}{ll} 0 < p < 90^\circ & \text{si } \cos AH < \cotg \delta \tg \varphi \\ 90^\circ < p < 180^\circ & \text{si } \cos AH > \cotg \delta \tg \varphi \end{array}$$

$$\Delta\alpha_1 = \chi \Delta z \frac{\sin p}{\cos \delta}$$

$$\chi = +1 \quad \text{si le radiant a déjà passé le méridien}$$

$$\chi = -1 \quad \text{si le radiant n'a pas encore passé le méridien.}$$

$$\Delta\delta_1 = \Delta z \cos p$$

$$\Delta\alpha_2 = 0,442 \cos \varphi \sec \delta \cos AH$$

$$\Delta\delta_2 = 0,442 \cos \varphi \sin \delta \sin AH$$

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_1 + \Delta\delta_2$$

$$b = (-\sin \alpha \cos \delta \cos \odot + \cos \omega \cos \alpha \cos \delta \sin \odot) \Delta\alpha + [-\cos \alpha \sin \delta \cos \odot + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) \sin \odot] \Delta\delta$$

$$c = (\sin \alpha \cos \delta \sin \odot + \cos \omega \cos \alpha \cos \delta \cos \odot) \Delta\alpha + [\cos \alpha \sin \delta \sin \odot + (\sin \omega \cos \delta - \cos \omega \sin \alpha \sin \delta) \cos \odot] \Delta\delta$$

$$d = -\sin \omega \cos \alpha \cos \delta \Delta\alpha + (\cos \omega \cos \delta + \sin \omega \sin \delta \sin \alpha) \Delta\delta.$$

17. — Les météores utilisés ont été pris dans les catalogues mentionnées plus haut. Une étude préliminaire a permis d'éliminer tous ceux qui n'étaient certainement pas des Perséides. Dans ce but, tous les météores photographiés entre le 11 juillet et le 19 août ont été portés sur un globe. L'adoption des Perséides possibles était faite d'une manière très large : on admettait tous les météores qui passaient à moins de 30 degrés du radiant. Les météores ainsi admis étaient ensuite portés sur une carte en projection gnomonique ce qui permettait une évaluation approximative de  $z$ . Finalement tous ceux pour lesquels cette quantité se montrait inférieure ou égale à 10° furent conservés. Le tableau suivant (tableau 1) donne la liste des météores retenus rangés par ordre de date (sans tenir compte de l'année).

Le tableau I appelle quelques remarques. Ainsi tous les météores du catalogue de Yale ont 25 degrés pour déclinaison de leurs deux extrémités ; en voici la raison : le catalogue ne donnait pas, pour chacun de ces météores, les extrémités de sa traînée, mais l'ascension droite  $N$  du nœud ascendant  $A$  de celle-ci sur l'équateur et son inclinaison  $I$  (Fig. 15). Au cours de l'étude préliminaire dont il a été question au début de ce paragraphe, nous avons dû, pour porter les météores sur la carte en projection gnomonique, calculer les coordonnées de points situés sur les prolongements de leurs traînées ; nous avons alors choisi les deux intersections  $M$  et  $M'$  de chaque traînée avec le petit cercle parallèle à l'équateur et de déclinaison  $+25^\circ$ . Ces points ont été, par la suite, utilisés dans tout le reste du calcul et ce sont leurs coordonnées qui figurent dans le tableau I. Ce tableau ne donne donc pas, pour ces météores, les extrémités de la traînée, mais deux points *arbitraires* situés sur le prolongement de celle-ci. Ce fait n'a aucune importance pour la suite du calcul, puisque ces coordonnées ne servent qu'à déterminer les composantes  $U$   $V$   $W$  d'un vecteur unitaire normal au plan de la traînée.

Pour le calcul des coordonnées des points  $M$  et  $M'$ , nous avons utilisé les formules suivantes données par le triangle  $AMH$ .

$$(34) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sin \widehat{AM} = \sin 25^\circ \operatorname{cosec} I \\ \tg (\alpha - N) = \cos i \tg \widehat{AM} \\ \cos (\alpha - N) = \sec 25^\circ \cos (\widehat{AM}). \end{array} \right.$$

TABLEAU I

| Numéro du météore | Date et heure d'apparition (1) | ☉ <sub>1900,0</sub> | Catalogue (2)          | Numéro du météore dans son catalogue | Coordonnées équatoriales des extrémités des traînées                                   |                                                      | Equinoxe | Lieu d'observation |
|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------|--------------------|
| 1                 | 1931 Juillet 20,699            | 117°,0              | Harvard II             | AC 30304                             | $\alpha_1=238^{\circ},0$<br>$\alpha_2=317^{\circ},5$                                   | $\delta_1=+58^{\circ},0$<br>$\delta_2=+51^{\circ},1$ | 1855,0   | Cambridge          |
| 2                 | 1932 Juillet 27,805            | 124°,5              | Harvard II             | AI 30219                             | 309°,6<br>308°,6                                                                       | +10°,3<br>+9°,1                                      | 1855,0   | Cambridge          |
| 3                 | 1899 Juillet 31,711            | 128°,7              | Yale                   | 43                                   | 237°,2<br>44°,5                                                                        | +25°,0<br>+25°,0                                     | 1875,0   | New-Haven          |
| 4                 | 1930 Août 2,666                | 129°,7              | Harvard II             | RH 2324                              | 287°,7<br>279°,3                                                                       | +44°,7<br>+35°,9                                     | 1855,0   | Cambridge          |
| 5                 | 1909 Août 2,759                | 130°,1              | Yale                   | 108                                  | 232°,2<br>113°,1                                                                       | +25°,0<br>+25°,0                                     | 1875,0   | New-Haven          |
| 6                 | 1937 Août 4,593                | 131°25',5           | RAJ XVI<br>vol. I 1939 |                                      | Coordonnées du pôle de la traînée<br>$\alpha=193^{\circ}55',5$ $\delta=+33^{\circ},5'$ |                                                      | 1875,0   | Tashkent           |
| 7                 | 1931 Août 5,586                | 132°,2              | Harvard II             | AI 29275                             | 189°,6<br>195°,0                                                                       | +54°,0<br>+34°,8                                     | 1855,0   | Cambridge          |
| 8                 | 1921 Août 5,842                | 133°0',4            | Harvard I              | AI 20900                             | 81°42',0<br>84°15',0                                                                   | +47°42',6<br>+46°25',2                               | 1855,0   | Cambridge          |
| 9                 | 1912 Août 6,756                | 134°10'             | Harvard I              | AI 11014                             | 324°51',0<br>316°42',0                                                                 | +56°54',0<br>+53°34',3                               | 1855,0   | Cambridge          |
| 10                | 1897 Août 7,847                | 136°,0              | Yale                   | 23                                   | 349°,8<br>134°,0                                                                       | +25°,0<br>+25°,0                                     | 1875,0   | New-Haven          |
| 11                | 1899 Août 8,689                | 136°,3              | Yale                   | 47                                   | 312°,6<br>98°,6                                                                        | +25°,0<br>+25°,0                                     | 1875,0   | New-Haven          |
| 12                | 1893 Août 8,725                | 136°,9              | Yale                   | 3                                    | 292°,4<br>85°,9                                                                        | +25°,0<br>+25°,0                                     | 1875,0   | New-Haven          |
| 13                | 1893 Août 8,725                | 136°53',8           | Harvard I              | I 9120                               | 341°27',0<br>333°30',0                                                                 | +60°52',8<br>+58°46',4                               | 1855,0   | Cambridge          |
| 14                | 1902 Août 8,745                | 135°,7              | Yale                   | 75                                   | 289°,2<br>82°,1                                                                        | +25°,0<br>+25°,0                                     | 1875,0   | New-Haven          |
| 15                | 1899 Août 8,752                | 136°24',8           | Harvard I              | AC 387                               | 339°55',5<br>324°42',0                                                                 | +53°35',4<br>+46°15',6                               | 1855,0   | Cambridge          |
| 16                | 1293 Août 8,764                | 135°18',9           | Harvard I              | AI 22642                             | 347°37',5<br>343°39',0                                                                 | -17°49',2<br>-25°43',2                               | 1855,0   | Cambridge          |
| 17                | 1923 Août 8,828                | 135°22',9           | Harvard I              | AI 22643                             | 14°7',5<br>4°10',5                                                                     | +38°06',6<br>+25°39',0                               | 1855,0   | Cambridge          |
| 18                | 1923 Août 8,831                | 135°22',9           | Harvard I              | AC 25327                             | 13°45',0<br>4°21',0                                                                    | +37°48',0<br>+23°53',4                               | 1855,0   | Cambridge          |
| 19                | 1894 Août 9,655                | 137°,5              | Yale                   | 9                                    | 273°,1<br>71°,9                                                                        | +25°,0<br>+25°,0                                     | 1875,0   | Cambridge          |

TABLEAU I (suite)

| Numéro du météore | Date et heure d'apparition |        | ○ 1900.0  | Catalogue  | Numéro du météore dans son catalogue | Coordonnées équatoriales des extrémités des traînées           |                                                                    | Equinoxe | Lieu d'observation |
|-------------------|----------------------------|--------|-----------|------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------|--------------------|
| 20                | 1927 Août                  | 9,678  | 136°10',5 | Harvard I  | AY 1553                              | $\alpha_1 = 319^{\circ}31',5$<br>$\alpha_2 = 308^{\circ}54',0$ | $\delta_1 = +19^{\circ}42',0$<br>$\delta_2 = \quad 3^{\circ}36',0$ | 1855,0   | Cambridge          |
| 21                | 1893 Août                  | 9,683  | 137°,8    | Yale       | 4                                    | 320°,8<br>107°,3                                               | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 22                | 1893 Août                  | 9,741  | 137°,9    | Yale       | 5                                    | 99°,4<br>311°,4                                                | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 23                | 1935 Août                  | 9,771  | 136°,2    | Harvard II | AI 32219                             | 308°,2<br>290°,1                                               | +57°,6<br>+44°,6                                                   | 1855,0   | Oak-Ridge          |
| 24                | 1894 Août                  | 9,929  | 137°,8    | Yale       | 12                                   | 5°,7<br>202°,5                                                 | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 25                | 1894 Août                  | 10,014 | 137°,9    | Yale       | 13                                   | 40°,4<br>222°,6                                                | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 26                | 1889 Août                  | 10,575 | 138°42',2 | Harvard I  | E 1399                               | 192°45'<br>202°0'                                              | +77°0'<br>+69°18'                                                  | 1855,0   | Cambridge          |
| 27                | 1896 Août                  | 10,624 | 138°,9    | Yale       | 17                                   | 50°,1<br>227°,1                                                | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 28                | 1909 Août                  | 10,630 | 137°,7    | Yale       | 110                                  | 343°,0<br>128°,3                                               | +25°,2<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 29                | 1909 Août                  | 10,633 | 137°,7    | Yale       | 112                                  | 356°,3<br>146°,3                                               | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 30                | 1896 Août                  | 10,698 | 139°,0    | Yale       | 20                                   | 39°,6<br>217°,8                                                | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 31                | 1930 Août                  | 10,739 | 137°,4    | Harvard II | I 48576                              | 295°,8<br>290°,7                                               | +33°,0<br>+25°,3                                                   | 1855,0   | Cambridge          |
| 32                | 1896 Août                  | 10,740 | 139°,1    | Yale       | 21                                   | 38°,7<br>314°,5                                                | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 33                | 1930 Août                  | 10,778 | 137°,5    | Harvard II | AI 28379                             | 57°,1<br>64°,8                                                 | +60°,8<br>+61°,8                                                   | 1855,0   | Cambridge          |
| 34                | 1900 Août                  | 10,827 | 138°,9    | Harvard I  | AC 959                               | 53°36',0<br>55°28',5                                           | +58°21',0<br>+49°4',8                                              | 1855,0   | Cambridge          |
| 35                | 1894 Août                  | 10,967 | 138°,8    | Yale       | 15                                   | 306°,5<br>94°,6                                                | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 36                | 1909 Août                  | 11,633 | 138°,6    | Yale       | 114                                  | 337°,5<br>145°,1                                               | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 37                | 1909 Août                  | 11,671 | 138°,7    | Yale       | 116                                  | 24°,3<br>189°,7                                                | +25°,0<br>+25°,0                                                   | 1875,0   | New-Haven          |
| 38                | 1932 Août                  | 11,698 | 138°,8    | Harvard II | AC 30362                             | 317°,6<br>312°,5                                               | +6°,8<br>-1°,4                                                     | 1855,0   | Cambridge          |

TABLEAU I (suite)

| Numéro du météore | Date et heure d'apparition | $\odot_{1900,0}$ | Catalogue  | Numéro du météore dans son catalogue | Coordonnées équatoriales des extrémités des traînées       |                                                         | Equinoxe | Lieu d'observation           |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------|------------------------------|
| 39                | 1910 Août 11, 740          | 138°29',6        | Harvard I  | AC 387                               | $\alpha_1=328^{\circ}40',5$<br>$\alpha_2=332^{\circ}15',0$ | $\delta_1=-3^{\circ}6',0$<br>$\delta_2=+2^{\circ}27',6$ | 1855,0   | Cambridge                    |
| 40                | 1902 Août 11, 771          | 138°6            | Yale       | 80                                   | 238°8<br>52°2                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 41                | 1902 Août 11, 771          | 138°6            | Yale       | 82                                   | 291°5<br>83°6                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 42                | 1902 Août 11, 778          | 138°6            | Yale       | 84                                   | 315°0<br>102°6                                             | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 43                | 1930 Août 11, 780          | 138°4            | Harvard II | AI 28385                             | 86°4<br>89°0                                               | +43°8<br>+41°8                                          | 1855,0   | Cambridge                    |
| 44                | 1928 Août 11, 781          | 138°53',5        | Harvard I  | AI 26561                             | 46°58',5<br>47°27',0                                       | +42°08',4<br>+37°57',6                                  | 1855,0   | Cambridge                    |
| 45                | 1904 Août 11, 786          | 139°2',6         | Harvard I  | AI 2634                              | 46°37',5<br>46°46',5                                       | +21°48',0<br>+14°39',0                                  | 1855,0   | Cambridge                    |
| 46                | 1902 Août 11, 792          | 138°6            | Yale       | 89                                   | 238°5<br>53°4                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 47                | 1902 Août 11, 797          | 138°6            | Yale       | 85                                   | 285°1<br>79°5                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 48                | 1902 Août 11, 803          | 138°6            | Yale       | 87                                   | 238°8<br>52°2                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 49                | 1925 Août 11, 827          | 138°43'          | Harvard I  | AY 738                               | 35°16',5<br>34°0',0                                        | +62°10',8<br>+62°49',2                                  | 1855,0   | Cambridge                    |
| 50                | 1894 Août 11, 933          | 139°8            | Yale       | 16                                   | 275°7<br>73°9                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 51                | 1925 Août 12, 742          | 139°57'          | Harvard I  | AY 740                               | 58°9',0<br>58°46',5                                        | +62°12',6<br>+62°16',2                                  | 1855,0   | Cambridge                    |
| 52                | 1902 Août 12, 744          | 139°5            | Yale       | 92                                   | 355°1<br>144°7                                             | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 53                | 1902 Août 12, 819          | 139°6            | Yale       | 77                                   | 43°4<br>210°1                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 54                | 1902 Août 12, 839          | 139°6            | Yale       | 94                                   | 260°8<br>65°3                                              | +25°0<br>+25°0                                          | 1875,0   | New-Haven                    |
| 55                | 1930 Août 13, 609          | 140°2            | Harvard II | NA 920                               | 298°4<br>287°8                                             | +49°1<br>+37°2                                          | 1855,0   | Nantucket                    |
| 56                | 1931 Août 13, 637          | 140°0            | Harvard II | MF 15873                             | 57°3<br>57°8                                               | +19°1<br>+26°7                                          | 1855,0   | Bloemfontein (Afriq. du Sud) |
| 57                | 1906 Août 13, 704          | 140°24'          | Harvard I  | AC 7700                              | 26°1',5<br>14°0',0                                         | +74°43',8<br>+78°22',2                                  | 1855,0   | Cambridge                    |

TABLEAU I (suite et fin)

| Numéro du météore | Date et heure d'apparition | $\odot_{1900,0}$ | Catalogue  | Numéro du météore dans son catalogue | Coordonnées équatoriales des extrémités des traînées | Equinoxe                                             | Lieu d'observation  |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|
| 58                | 1898 Août 13,739           | 141°,4           | Yale       | 30                                   | $\alpha_1 = 37^\circ,4$<br>$\alpha_2 = 214^\circ,2$  | $\delta_1 = +25^\circ,0$<br>$\delta_2 = +25^\circ,0$ | 1875,0 New-Haven    |
| 59                | 1915 Août 14,735           | 141°5',9         | Harvard I  | AI 13981                             | 337°9',0<br>352°39',0                                | +40°49',2<br>+50°9',0                                | 1855,0 Cambridge    |
| 60                | 1931 Août 15,712           | 141°,9           | Harvard II | RH 3315                              | 327°,8<br>328°,3                                     | — 2°,1<br>— 15°,3                                    | 1855,0 Cambridge    |
| 61                | 1931 Août 16,690           | 142°,9           | Harvard II | AC 29394                             | 340°,7<br>328°,3                                     | +37°,3<br>+25°,0                                     | 1855,0 Cambridge    |
| 62                | 1931 Août 19,405           | 145°,5           | Harvard II | MF 15951                             | 277°,2<br>276°,8                                     | + 2°,4<br>— 3°,3                                     | 1855,0 Bloemfontein |

(<sup>1</sup>) Les dates sont exprimées en temps moyen *astronomique* de Greenwich, les jours commençant à Midi.

(<sup>2</sup>) Harvard I = *Annals of the astronomical observatory of Harvard College*, vol. 87, part. 3, 1931 ; Harvard II = *Annals of the astronomical observatory of Harvard College*, vol. 82, part. 8, 1937 ; Yale = *Astronomical Journal*, vol. 46, p. 41, 1937.

On remarquera encore que les coordonnées relatives aux météores du catalogue Harvard I sont données au dixième de minute, alors que, pour les autres météores, on s'est borné au dixième de degré. Pour donner la raison de ce fait, nous devons étudier les effets sur la valeur de  $\varepsilon$  de petites erreurs sur les positions des extrémités des traînées. Soit

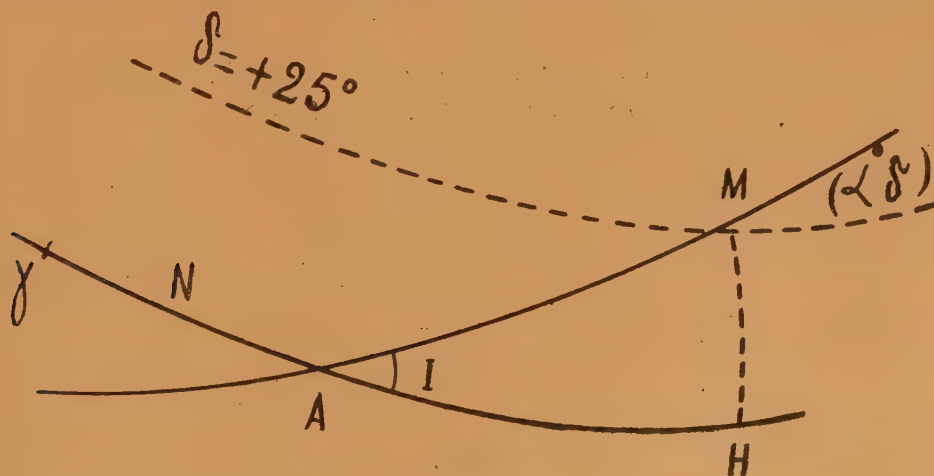


Fig. 15

donc, AB (Fig. 16) une traînée météorique passant à une distance  $\varepsilon$  du radiant R. Modifions légèrement les positions des extrémités A et B de la traînée. Chacun des déplacements des points A et B peut être décomposé en un déplacement suivant la traînée et un déplacement perpendiculaire à celle-ci. Les premiers déplacements ne modifient pas  $\varepsilon$  ; nous n'envisagerons donc que les déplacements perpendiculaires.

Soient  $AA'$  et  $BB'$  les déplacements, soient  $N$  et  $N'$  les intersections de la nouvelle traînée avec l'ancienne, et  $H$  et  $H'$  les pieds des grands cercles perpendiculaires abaissés de  $R$  sur  $AB$  et  $A'B'$ . Désignons, en outre par :

$i$  l'inclinaison de la nouvelle traînée  $A'B'$  sur l'ancienne

$\varphi$  l'angle  $RNH$

$m$  l'arc  $RN$

$x$  l'arc  $AN$

$k$  l'arc  $AH$

$l$  l'arc  $BA$

$d$  et  $d'$  les déplacements  $AA'$  et  $BB'$

$\varepsilon'$  la distance de  $R$  à la traînée  $A'B'$



Fig. 16

Nous avons, dans les triangles sphériques rectangles  $NAA'$  et  $NBB'$  :

$$(35) \quad \operatorname{tg} i = \frac{\operatorname{tg} d}{\sin x} = \frac{\operatorname{tg} d'}{\sin (x + l)},$$

tandis que les deux triangles sphériques rectangles  $NRH$  et  $NRH'$  donnent :

$$(36) \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varepsilon}{\sin (k - x)}$$

$$(37) \quad \sin \varepsilon = \sin m \sin \varphi$$

$$(38) \quad \sin \varepsilon' = \sin m \sin (\varphi + i).$$

Des équations (37) et (38) on tire :

$$\sin \varepsilon' = \sin \varepsilon \frac{\sin (\varphi + i)}{\sin \varphi}$$

ou :

$$* (39) \quad \sin \varepsilon' = \sin \varepsilon (\cos i + \sin i \cotg \varphi)$$

$i$  et  $\varphi$  peuvent être tirés des équations (35) dont la dernière

$$\frac{\operatorname{tg} d}{\sin x} = \frac{\operatorname{tg} d'}{\sin (x + l)}$$

s'écrit :

$$\sin(l+x) = \frac{\operatorname{tg} d'}{\operatorname{tg} d} \sin x$$

ou, puisque  $d$  et  $d'$  sont petits :

$$\sin(l+x) = \frac{d'}{d} \sin x$$

ou

$$\sin l \cos x + \sin x \cos l = \frac{d'}{d} \sin x$$

$$\operatorname{tg} x = \frac{\sin l}{\frac{d'}{d} - \cos l} = \frac{d \sin l}{d' - d \cos l},$$

et, par suite :

$$\frac{1}{\sin^2 x} = 1 + \cotg^2 x = 1 + \frac{(d' - d \cos l)^2}{d^2 \sin^2 l} = \frac{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}{d^2 \sin^2 l}$$

ou :

$$\sin x = \frac{d \sin l}{\sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}$$

$$\cos x = \cotg x \cdot \sin x = \frac{d' - d \cos l}{\sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}$$

Enfin, la première des équations (35) donne :

$$\operatorname{tg} i = \frac{\operatorname{tg} d}{\sin x} = \frac{d}{\sin x} = \frac{\sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}{\sin l}.$$

L'angle  $i$  sera donc petit, sauf dans le cas où  $l$  tendrait lui-même vers 0. Ce dernier arc se montant généralement à quelques degrés, nous pouvons écrire :

$$\operatorname{tg} i = i = \frac{\sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}{\sin l}.$$

Enfin l'équation (36) donne :

$$\cotg \varphi = \frac{\sin(k-x)}{\operatorname{tg} \varepsilon} = \frac{\sin k \cos x - \sin x \cos k}{\operatorname{tg} \varepsilon}$$

$$\cotg \varphi = \frac{\sin k \cdot (d' - d \cos l) - d \cos k \sin l}{\operatorname{tg} \varepsilon \sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}$$

$$\cotg \varphi = \frac{d' \sin k - d \sin(k+l)}{\operatorname{tg} \varepsilon \sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}.$$

Finalement, en remarquant que l'équation 39 peut s'écrire, puisque  $i$  est petit :

$$\sin \varepsilon' = \sin \varepsilon (1 + i \cotg \varphi)$$

$$\cos \varepsilon \cdot (\varepsilon' - \varepsilon) = + i \sin \varepsilon \cotg \varphi = + \sin \varepsilon \cdot \frac{\sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}{\sin l} \cdot \frac{d' \sin k - d \sin(k+l)}{\operatorname{tg} \varepsilon \cdot \sqrt{d^2 + d'^2 - 2dd' \cos l}}.$$

Ou, en posant  $\varepsilon' - \varepsilon = \Delta \varepsilon$  et en remarquant que  $\frac{\sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \varepsilon} = \cos \varepsilon$ .

(40)

$$\Delta \varepsilon = - \frac{d \sin(k+l) - d' \sin k}{\sin l}.$$

Tous les calculs ci-dessus sont encore valables si le point N se trouve entre A et B (c'est-à-dire si les points A et A' se trouvent en  $A_1$  et  $A'_1$  sur la figure (16), à condition de toujours compter les arcs  $AN = x$ ,  $AH = k$ , et  $BA = l$  positivement dans le sens de B vers A et les arcs  $d$  et  $d'$  positivement dans le sens directement perpendiculaire.

Pour avoir l'ordre de grandeur de  $\Delta\varepsilon$  faisons successivement :  $d' = d$  et  $d' = -d$ . Nous avons :

$$\text{pour } d' = d \quad \Delta\varepsilon = -d \frac{\sin(k+l) - \sin k}{\sin l} = -d \frac{2 \sin \frac{l}{2} \cos \left(k + \frac{l}{2}\right)}{2 \sin \frac{l}{2} \cos \frac{l}{2}}$$

$$\text{pour } d' = -d \quad \Delta\varepsilon = -d \frac{\sin(k+l) + \sin k}{\sin l} = -d \frac{2 \cos \frac{l}{2} \sin \left(k + \frac{l}{2}\right)}{2 \sin \frac{l}{2} \cos \frac{l}{2}}$$

ou

$$(41) \quad \text{pour } d' = d \quad |\Delta\varepsilon| = \left| \frac{d \cos \left(k + \frac{l}{2}\right)}{\cos \frac{l}{2}} \right|$$

$$(42) \quad \text{pour } d' = -d \quad |\Delta\varepsilon| = \left| \frac{d \sin \left(k + \frac{l}{2}\right)}{\sin \frac{l}{2}} \right|$$

Dans le premier cas, la trajectoire AB est transportée parallèlement à elle-même ; le résultat montre que  $|\Delta\varepsilon|$  est toujours de l'ordre de grandeur de  $d$ , même si  $l$  ne se monte qu'à un ou deux degrés. Par contre, dans le deuxième cas, qui correspond à une rotation de AB,  $|\Delta\varepsilon|$  peut atteindre des valeurs considérables si  $l$  est petit et si  $k$  est grand, c'est-à-dire si la trajectoire enregistrée est courte et située loin du radiant.

Nous voyons maintenant que, pour les météores du catalogue de Yale, il nous suffit de posséder les coordonnées des points M et M' à la précision de  $0^{\circ},1$  pour avoir la même précision sur  $\varepsilon$ , car pour ces météores l'arc  $l$ , égal à MM' est toujours considérable. La précision requise de  $0^{\circ},1$  sur les coordonnées de M et M' est en notre possession car nous avons calculé ces coordonnées à l'aide de la formule (34) à la précision du catalogue, c'est-à-dire au dixième de minute, puis nous les avons arrondies au dixième de degré ; les coordonnées données dans le tableau I sont donc toujours exactes à  $0^{\circ},05$  près.

Mais, en ce qui concerne les catalogues Harvard I et Harvard II, certains météores de ces catalogues ont des longueurs  $l$  qui n'excèdent pas un à deux degrés, et sont situés loin du radiant. L'erreur sur  $\varepsilon$  aurait donc risqué d'être considérable si nous avions pris les extrémités des traînées à  $0^{\circ},1$  près. Aussi avons-nous utilisé toute la précision de ces catalogues. Malheureusement le catalogue Harvard II ne donne que le dixième de degré.

18. — Nous devons maintenant reproduire les calculs relatifs à l'attraction zénithale et à l'aberration diurne. Les coordonnées géographiques des stations, nécessaires à ces calculs, sont les suivantes :

| Stations                                        | Latitude               | Longitude                                         |
|-------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| Observatoire Yale New-Haven-Connecticut (E. U.) | $41^{\circ}19'22'',3$  | $4^{\text{h}}51^{\text{m}}40^{\text{s}},58$ Ouest |
| Cambridge-Mass. (E. U.)                         | $42^{\circ}22'47'',6$  | $4^{\text{h}}44^{\text{m}}31^{\text{s}},05$ Ouest |
| Oak-Ridge (E. U.)                               | $42^{\circ},5$         | $4^{\text{h}}46^{\text{m}}53^{\text{s}}$ Ouest    |
| Nantucket (E. U.)                               | $41^{\circ}16'50'',1$  | $4^{\text{h}}40^{\text{m}}51^{\text{s}},17$ Ouest |
| Bloemfontein (Afrique du Sud)                   | $-29^{\circ},2$        | $1^{\text{h}}45^{\text{m}}37^{\text{s}}$ Est      |
| Tashkent (U. R. S. S.)                          | $+41^{\circ}19'17'',9$ | $4^{\text{h}}37^{\text{m}}10^{\text{s}},57$ Est   |

Le tableau II, dont les en-têtes de colonnes se comprennent d'elles-mêmes retrace tout le calcul.

TABLEAU II

Effet de l'attraction zénithale et de l'aberration diurne

| Météore | Date                 | Lieu d'observation | Radiant de Denning $\zeta$ | Temps sidéral local | AH                | $z$               | $\Delta z$       | $\Delta \alpha_1$ | $\Delta \alpha_2$ | $\Delta \alpha_3$ | $\Delta \delta$   | $b$               | $c$               | $d$      |
|---------|----------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 1       | 1931 Juillet 20, 699 | Cambridge          | 21 <sup>h</sup> 5          | + 51 <sup>h</sup> 5 | 83 <sup>o</sup> 0 | 54 <sup>o</sup> 3 | 0 <sup>o</sup> 5 | -0 <sup>o</sup> 7 | +0 <sup>o</sup> 2 | +0 <sup>o</sup> 1 | -0 <sup>o</sup> 3 | -0 <sup>o</sup> 6 | -0 <sup>o</sup> 1 | +0, 0012 |
| 2       | 1932 Juillet 27, 805 | Cambridge          | 29, 6                      | + 53, 6             | 45, 2             | 31, 6             | 0, 3             | -0, 5             | 0, 0              | +0, 4             | -0, 2             | -0, 1             | -0, 2             | -0, 0028 |
| 3       | 1899 Juillet 31, 711 | New-Haven          | 34, 2                      | + 54, 6             | 81, 4             | 52, 9             | 0, 5             | -0, 8             | +0, 2             | 0, 0              | -0, 3             | -0, 8             | -0, 1             | +0, 0014 |
| 4       | 1930 Août 2, 666     | Cambridge          | 36, 2                      | + 55, 1             | 96, 6             | 60, 5             | 0, 6             | -0, 9             | +0, 3             | -0, 1             | -0, 3             | -1, 0             | 0, 9              | +0, 0033 |
| 5       | 1909 Août 2, 759     | New-Haven          | 36, 2                      | + 55, 1             | 64, 8             | 47, 2             | 0, 5             | -0, 8             | +0, 2             | +0, 2             | -0, 2             | -0, 6             | 0, 0              | +0, 0020 |
| 6       | 1937 Août 4, 593     | Tashkent           | 38, 8                      | + 55, 7             | 91, 1             | 57, 5             | 0, 3             | -0, 5             | +0, 1             | -0, 1             | -0, 3             | -0, 6             | -0, 2             | -0, 0007 |
| 7       | 1931 Août 5, 586     | Cambridge          | 39, 7                      | + 55, 9             | 126, 2            | 71, 8             | 0, 7             | -0, 8             | +0, 5             | -0, 3             | -0, 2             | -1, 1             | +0, 3             | +0, 0071 |
| 8       | 1921 Août 5, 842     | Cambridge          | 40, 0                      | + 56, 0             | 33, 6             | 25, 4             | 0, 2             | -0, 3             | -0, 1             | +0, 5             | -0, 1             | +0, 2             | -0, 2             | -0, 0031 |
| 9       | 1912 Août 6, 756     | Cambridge          | 41, 1                      | + 56, 2             | 5, 3              | 14, 2             | 0, 1             | -0, 1             | -0, 1             | +0, 6             | -0, 3             | +0, 5             | -0, 4             | -0, 0066 |
| 10      | 1897 Août 7, 847     | New-Haven          | 43, 6                      | + 56, 5             | 34, 7             | 27, 0             | 0, 2             | -0, 3             | -0, 1             | +0, 5             | -0, 2             | +0, 2             | -0, 3             | +0, 0044 |
| 11      | 1899 Août 8, 689     | New-Haven          | 43, 4                      | + 56, 7             | 90, 7             | 56, 9             | 0, 6             | -1, 0             | +0, 3             | +0, 0             | -0, 3             | -1, 0             | 0, 0              | +0, 0028 |
| 12      | 1893 Août 8, 725     | New-Haven          | 43, 5                      | + 56, 7             | 77, 4             | 50, 1             | 0, 5             | -0, 9             | +0, 1             | +0, 1             | -0, 3             | -0, 8             | -0, 2             | -0, 0035 |
| 13      | 1893 Août 8, 725     | Cambridge          | 43, 5                      | + 56, 7             | 75, 7             | 48, 4             | 0, 5             | -0, 9             | +0, 1             | +0, 1             | -0, 3             | -0, 8             | -0, 2             | -0, 0035 |
| 14      | 1902 Août 8, 745     | New-Haven          | 43, 5                      | + 56, 7             | 71, 3             | 48, 4             | 0, 5             | -0, 9             | +0, 2             | +0, 2             | -0, 3             | -0, 7             | -0, 1             | +0, 0007 |
| 15      | 1899 Août 8, 752     | Cambridge          | 43, 5                      | + 56, 7             | 66, 4             | 43, 5             | 0, 4             | -0, 7             | +0, 1             | +0, 2             | -0, 3             | -0, 5             | -0, 2             | -0, 0012 |
| 16      | 1923 Août 8, 764     | Cambridge          | 43, 5                      | + 56, 7             | 62, 8             | 41, 5             | 0, 4             | -0, 7             | +0, 1             | +0, 3             | -0, 2             | -0, 4             | -0, 1             | -0, 0002 |
| 17      | 1923 Août 8, 828     | Cambridge          | 43, 6                      | + 56, 8             | 39, 9             | 29, 0             | 0, 3             | -0, 5             | -0, 1             | +0, 5             | -0, 2             | 0, 0              | -0, 3             | -0, 0039 |
| 18      | 1923 Août 8, 831     | Cambridge          | 43, 6                      | + 56, 8             | 38, 7             | 28, 4             | 0, 3             | -0, 5             | -0, 1             | +0, 5             | -0, 2             | 0, 0              | -0, 3             | -0, 0039 |
| 19      | 1894 Août 9, 655     | New-Haven          | 44, 6                      | + 56, 9             | 103, 2            | 62, 7             | 0, 6             | -0, 9             | +0, 3             | -0, 0             | -0, 3             | -1, 0             | 0, 0              | +0, 0027 |
| 20      | 1927 Août 9, 678     | Cambridge          | 44, 6                      | + 56, 9             | 108, 8            | 64, 2             | 0, 6             | -0, 9             | +0, 4             | -0, 2             | -0, 3             | -1, 1             | +0, 1             | +0, 0043 |
| 21      | 1893 Août 9, 683     | New-Haven          | 44, 6                      | + 56, 9             | 92, 9             | 57, 9             | 0, 6             | -1, 0             | +0, 3             | 0, 0              | -0, 3             | -1, 0             | 0, 0              | +0, 0027 |
| 22      | 1893 Août 9, 741     | New-Haven          | 44, 6                      | + 56, 9             | 71, 7             | 47, 0             | 0, 4             | -0, 7             | 0, 1              | +0, 2             | -0, 3             | -0, 5             | -0, 2             | -0, 0012 |
| 23      | 1935 Août 9, 771     | Oak-Ridge          | 44, 8                      | + 57, 0             | 61, 1             | 40, 5             | 0, 4             | -0, 7             | 0, 0              | +0, 3             | -0, 2             | -0, 4             | -0, 2             | -0, 0015 |
| 24      | 1894 Août 9, 929     | New-Haven          | 44, 8                      | + 57, 0             | 4, 6              | 16, 0             | 0, 1             | 0, 0              | -0, 1             | +0, 6             | -0, 2             | +0, 6             | -0, 3             | -0, 0055 |
| 25      | 1894 Août 10, 014    | New-Haven          | 45, 0                      | + 57, 0             | 26, 3             | 23, 0             | 0, 2             | +0, 3             | -0, 1             | +0, 6             | +0, 1             | +0, 9             | 0, 0              | +0, 0024 |

TABLEAU II (suite)

| Météore | Date             | Lieu d'observation | Radiant de Denning $\alpha$                    | Temps sidéral local | AH | $z$   | $\Delta z$ | $\Delta x_1$ | $\Delta y_1$ | $\Delta x_2$ | $\Delta y_2$ | $\Delta x$ | $\Delta y$ | $b$ | $c$ | $d$ |
|---------|------------------|--------------------|------------------------------------------------|---------------------|----|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|-----|-----|-----|
| 26      | 1889 Août 10,575 | Cambridge          | 45,7 + 57,1 18 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 3  | —                   | —  | 129,1 | 71,8       | 0,7          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 27      | 1896 Août 10,624 | New-Haven          | 45,8 + 57,1 19 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 6  | —                   | —  | 114,1 | 67,1       | 0,7          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 28      | 1909 Août 10,630 | New-Haven          | 45,8 + 57,1 19 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 1  | —                   | —  | 113,0 | 66,7       | 0,7          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 29      | 1909 Août 10,633 | New-Haven          | 45,8 + 57,1 19 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 1  | —                   | —  | 118,1 | 66,2       | 0,7          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 30      | 1896 Août 10,698 | New-Haven          | 45,9 + 57,1 21 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 9  | —                   | —  | 87,4  | 55,0       | 0,5          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 31      | 1930 Août 10,739 | Cambridge          | 46,0 + 57,1 22 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> 5  | —                   | —  | 72,1  | 46,5       | 0,4          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 32      | 1896 Août 10,740 | New-Haven          | 46,0 + 57,1 22 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 1  | —                   | —  | 73,5  | 47,8       | 0,5          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 33      | 1930 Août 10,778 | Cambridge          | 46,0 + 57,2 23 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 8  | —                   | —  | 58,0  | 38,8       | 0,4          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 34      | 1900 Août 10,827 | Cambridge          | 46,1 + 57,2 0 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 8   | —                   | —  | 40,2  | 29,2       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 35      | 1894 Août 10,967 | New-Haven          | 46,3 + 57,2 3 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 1   | —                   | —  | 9,0   | 16,9       | 0,2          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 36      | 1909 Août 11,653 | New-Haven          | 47,1 + 57,4 20 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup> 82 | —                   | —  | 104,8 | 63,1       | 0,6          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 37      | 1909 Août 11,671 | New-Haven          | 47,2 + 57,4 20 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 0  | —                   | —  | 98,4  | 60,2       | 0,6          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 38      | 1932 Août 11,698 | Cambridge          | 47,1 + 57,4 21 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 3  | —                   | —  | 86,5  | 53,7       | 0,5          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 39      | 1910 Août 11,740 | Cambridge          | 47,2 + 57,4 22 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> 7  | —                   | —  | 72,0  | 46,3       | 0,4          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 40      | 1902 Août 11,768 | New-Haven          | 47,2 + 57,4 22 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 9  | —                   | —  | 63,7  | 42,7       | 0,4          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 41      | 1902 Août 11,771 | New-Haven          | 47,2 + 57,4 22 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup> 3  | —                   | —  | 62,9  | 42,2       | 0,4          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 42      | 1902 Août 11,778 | New-Haven          | 47,2 + 57,4 23 <sup>h</sup> 7 <sup>m</sup> 8   | —                   | —  | 60,3  | 40,8       | 0,4          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 43      | 1930 Août 11,780 | Cambridge          | 47,2 + 57,4 23 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 7  | —                   | —  | 57,5  | 38,6       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 44      | 1928 Août 11,781 | Cambridge          | 47,2 + 57,4 22 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 4  | —                   | —  | 56,6  | 38,2       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 45      | 1904 Août 11,786 | Cambridge          | 47,2 + 57,4 22 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> 7  | —                   | —  | 55,0  | 37,2       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 46      | 1902 Août 11,792 | New-Haven          | 47,3 + 57,4 23 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> 0  | —                   | —  | 49,3  | 34,9       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 47      | 1902 Août 11,797 | New-Haven          | 47,3 + 57,4 23 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 0  | —                   | —  | 47,5  | 33,9       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 48      | 1902 Août 11,803 | New-Haven          | 46,5 + 57,3 23 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 5  | —                   | —  | 50,4  | 35,5       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 49      | 1925 Août 11,827 | Cambridge          | 47,3 + 57,4 0 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup> 8   | —                   | —  | 40,6  | 29,7       | 0,3          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 50      | 1894 Août 11,933 | Cambridge          | 47,4 + 57,5 2 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 5   | —                   | —  | 3,5   | 16,5       | 0,1          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |
| 51      | 1925 Août 12,742 | Cambridge          | 48,5 + 57,7 22 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 1  | —                   | —  | 71,2  | 45,8       | 0,4          | —            | —            | —            | —          | —          | —   | —   | —   |

TABLEAU II (suite et fin)

| Météore | Date              | Lieu d'observation | Radiant de Denning $\delta$ | Temps sidéral - local             | AH      | $z$   | $\Delta z$ | $\Delta \alpha_1$ | $\Delta \alpha_2$ | $\Delta \delta_2$ | $\Delta \alpha$ | $\Delta \delta$ | $b$     | $c$     | $d$     |
|---------|-------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------|-------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|
| 52      | 1902 Août 12, 744 | New-Haven          | 48,5 + 57,7                 | 22 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 3 | - 72,9  | 47,5  | 0,5        | -0,9 +0,1         | +0,2              | -0,3              | -0,7            | -0,2            | -0,0069 | -0,0024 | -0,0009 |
| 53      | 1902 Août 12, 819 | New-Haven          | 48,6 + 57,7                 | 0 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup> 3   | - 48,0  | 34,3  | 0,3        | -0,6 -0,4         | +0,4              | -0,2              | -0,2            | -0,6            | -0,0025 | -0,0068 | -0,0075 |
| 54      | 1902 Août 12, 839 | New-Haven          | 48,6 + 57,8                 | 23 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 3 | - 50,5  | 35,6  | 0,4        | -0,7 0,0          | +0,3              | -0,2              | -0,4            | -0,2            | -0,0042 | -0,0023 | -0,0016 |
| 55      | 1930 Août 13, 609 | Nantucket          | 49,6 + 57,9                 | 19 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 3 | - 118,8 | 67,6  | 0,7        | -0,9 +0,5         | -0,3              | -0,2              | -1,2            | +0,3            | -0,0146 | +0,0031 | +0,0068 |
| 56      | 1931 Août 13, 637 | Bloemfontein       | 49,6 + 57,9                 | 2 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 3  | - 12,3  | 88,4  | 1,0        | -0,4 -1,0         | +0,7              | -0,1              | +0,3            | -1,1            | +0,0035 | -0,0123 | -0,0150 |
| 57      | 1906 Août 13, 704 | Cambridge          | 49,7 + 57,9                 | 21 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 3 | - 85,6  | 52,7  | 0,5        | -0,9 +0,2         | 0,0               | -0,3              | -0,9            | -0,1            | -0,0109 | -0,0013 | +0,0009 |
| 58      | 1898 Août 13, 739 | New-Haven          | 49,7 + 57,9                 | 22 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 5 | - 74,1  | 47,1  | 0,4        | -0,7 +0,1         | +0,2              | -0,3              | -0,5            | -0,2            | -0,0062 | -0,0023 | -0,0014 |
| 59      | 1915 Août 14, 735 | Cambridge          | 52,2 + 58,4                 | 22 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 7 | - 74,8  | 47,6  | 0,5        | -0,9 +0,1         | +0,2              | -0,3              | -0,7            | -0,2            | -0,0082 | -0,0026 | -0,0009 |
| 60      | 1931 Août 15, 712 | Cambridge          | 52,2 + 58,4                 | 21 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 3 | - 83,4  | 51,8  | 0,5        | -0,9 +0,2         | +0,1              | -0,3              | -0,8            | -0,1            | -0,0094 | -0,0034 | +0,0005 |
| 61      | 1931 Août 16, 680 | Cambridge          | 53,5 + 58,6                 | 21 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 0 | - 95,2  | 57,2  | 0,6        | -1,0 +0,3         | -0,1              | -0,3              | -1,1            | 0,0             | -0,0127 | -0,0004 | +0,0024 |
| 62      | 1931 Août 19, 405 | Bloemfontein       | 57,2 + 59,2                 | 21 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 9 | - 97,7  | 118,7 | 1,7        | -3,3 -0,3         | -0,1              | -0,3              | -3,4            | -0,6            | -0,0125 | -0,0001 | +0,0025 |

| Météore | $\lambda_1$                                                                                     | $\beta_1$  | $\lambda_2$ | $\beta_2$  | Equinoxe | $\lambda_{1900,0}$                 | $\lambda_{21900,0}$ | $\odot_{1900,0}$ | $\lambda'_1$                  | $\lambda'_2$ | $\alpha_1$ | $\gamma_1$ | $\alpha_2$ |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|------------|----------|------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------|--------------|------------|------------|------------|
| 1       | + 23°,1                                                                                         | + 56°,0    | — 9°,9      | + 61°,9    | 1855,0   | + 23°,7                            | — 9°,3              | 117°,0           | — 93°,3                       | — 126°,3     | — 0,0322   | — 0,5582   | + 0,0322   |
| 2       | — 44°,9                                                                                         | + 27°,8    | — 46°,3     | + 26°,9    | 1855,0   | — 44°,3                            | — 45°,7             | 124°,5           | — 168°,8                      | — 170°,2     | — 0,8678   | — 0,1718   | + 0,0322   |
| 3       | — 132°,8                                                                                        | + 43°,7    | + 49°,3     | + 7°,8     | 1875,0   | — 132°,5                           | + 49°,6             | 128°,7           | + 98°,8                       | — 79°,1      | — 0,1106   | + 0,7145   | + 0,0322   |
| 4       | — 57°,7                                                                                         | + 66°,2    | — 75°,3     | + 58°,9    | 1855,0   | — 57°,1                            | — 74°,7             | 129°,7           | + 173°,2                      | + 155°,6     | — 0,4007   | + 0,0478   | + 0,0322   |
| 5       | — 15°,3                                                                                         | + 33°,8    | + 110°,9    | + 3°,2     | 1875,0   | — 138°,4                           | + 111°,2            | 130°,1           | — 145°,1                      | — 18°,9      | — 0,6816   | — 0,4754   | + 0,0322   |
| 6       | Coordonnées du pôle de la traînée :<br>$\lambda_p = 177^\circ 43' 5$ $\beta_1 = 35^\circ 31' 3$ |            |             |            | 1875,0   | $\lambda_{p1900,0} = 178^\circ 45$ |                     | 131°25',5        | $\lambda'_p = 46^\circ 39',0$ |              |            |            |            |
| 7       | + 158°,2                                                                                        | + 51°,4    | + 177°,7    | + 37°,5    | 1855,0   | + 158°,8                           | + 178°,3            | 132°,2           | + 26°,6                       | + 46°,1      | + 0,5579   | + 0,2794   | + 0,0322   |
| 8       | + 83°52',5                                                                                      | + 24°25',7 | + 85°41',7  | + 23°2',9  | 1855,0   | + 84°30',2                         | — 46°41',0          | 133°0',4         | — 48°30',2                    | — 46°41',0   | + 0,60326  | — 0,68194  | + 0,0322   |
| 9       | + 5°45',8                                                                                       | + 63°20'   | — 7°1',0    | + 64°11',6 | 1855,0   | + 6°23',5                          | — 6°23',4           | 134°,10          | — 127°46',5                   | — 140°33',4  | — 0,27490  | — 0,35472  | + 0,0322   |
| 10      | + 1°,2                                                                                          | + 26°,9    | + 129°,4    | + 7°,4     | 1875,0   | + 1°,5                             | + 129°,7            | 136°,0           | — 134°,5                      | — 6°,3       | — 0,6251   | — 0,6361   | + 0,0322   |
| 11      | — 35°,9                                                                                         | + 40°,8    | + 97°,8     | + 1°,8     | 1875,0   | — 35°,6                            | + 98°,1             | 136°,3           | — 171°,9                      | — 38°,2      | — 0,7494   | — 0,1067   | + 0,0322   |
| 12      | — 60°,1                                                                                         | + 46°,2    | + 86°,3     | + 1°,6     | 1875,0   | — 59°,8                            | — 86°,6             | 136°,9           | + 163°,3                      | — 50°,3      | — 0,6629   | + 0,1989   | + 0,0322   |
| 13      | + 24°2',1                                                                                       | + 59°39',5 | + 15°26',5  | + 61°13',5 | 1855,0   | — 24°39',8                         | + 16°4',2           | 136°53',8        | — 112°14',0                   | — 120°49',6  | — 0,19114  | — 0,46760  | + 0,0322   |
| 14      | — 64°,2                                                                                         | + 46°,7    | + 82°,8     | + 1°,7     | 1875,0   | — 69°,9                            | + 83°,1             | 135°7',1         | + 160°,4                      | — 52°,6      | — 0,6468   | + 0,2278   | + 0,0322   |
| 15      | + 13°27',8                                                                                      | + 55°19',4 | — 7°57',5   | + 55°16',0 | 1855,0   | + 14°5',5                          | — 7°19',5           | 136°24',8        | — 122°19',3                   | — 143°44',3  | — 0,80644  | — 0,48443  | + 0,0322   |
| 16      | — 18°22',8                                                                                      | — 11°30',5 | — 25°7',5   | — 17°17',2 | 1855,0   | — 17°45',1                         | — 24°29',8          | 135°18',9        | — 153°4',0                    | — 159°48',7  | — 0,87361  | — 0,44385  | — 0,0322   |
| 17      | + 28°56',1                                                                                      | + 29°19',4 | + 14°30',0  | + 21°46',5 | 1855,0   | + 29°33',8                         | + 15°7',7           | 135°22',9        | — 105°49',1                   | — 120°15',2  | — 0,23763  | — 0,83885  | + 0,0322   |
| 18      | + 28°28',4                                                                                      | + 29°10',5 | + 14°45',9  | + 21°55',5 | 1855,0   | + 29°06',1                         | + 15°23',6          | 135°22',9        | — 106°16',8                   | — 119°59',3  | — 0,24477  | — 0,83813  | + 0,0322   |
| 19      | — 85°,8                                                                                         | + 48°,4    | + 73°,6     | + 2°,6     | 1875,0   | — 85°,5                            | + 73°,9             | 137°,6           | + 136°,9                      | — 63°,7      | — 0,4848   | + 0,4536   | — 0,0322   |
| 20      | — 30°46',2                                                                                      | + 33°32',4 | — 47°38',9  | — 21°31',4 | 1855,0   | — 30°8',5                          | — 47°1',2           | 136°10',3        | — 166°18',8                   | + 176°48',5  | — 0,80983  | — 0,19722  | + 0,0322   |
| 21      | — 27°,0                                                                                         | + 38°,0    | + 105°,7    | + 2°,5     | 1875,0   | — 26°,7                            | + 106°,0            | 137°,8           | — 164°,5                      | — 31°,8      | — 0,7593   | — 0,1106   | + 0,0322   |
| 22      | + 98°,5                                                                                         | + 1°,8     | — 37°,2     | + 41°,2    | 1875,0   | + 98°,8                            | — 36°,9             | 137°,9           | — 39°,1                       | — 174°,8     | + 0,7756   | — 0,6304   | + 0,0322   |
| 23      | — 8°,6                                                                                          | + 70°,4    | — 53°,8     | + 65°,1    | 1855,0   | — 8°,0                             | — 53°,2             | 136°,2           | — 144°,2                      | + 170°,6     | — 0,2721   | — 0,1963   | + 0,0322   |
| 24      | + 30°,8                                                                                         | + 14°28'   | + 174°37',5 | + 25°4',5  | 1875,0   | + 36°29'                           | + 174°58',5         | 137°49'          | — 107°20'                     | + 37°9',5    | — 0,2884   | + 0,9243   | + 0,0322   |
| 25      | + 45°,7                                                                                         | + 39°,2    | — 149°,4    | + 39°,2    | 1875,0   | + 46°,0                            | — 149°,1            | 137°,9           | — 91°,9                       | + 73°,0      | — 0,0328   | — 0,9875   | + 0,0322   |
| 26      | 122°25',3                                                                                       | + 66°3',3  | + 142°33',5 | + 65°37',3 | 1855,0   | + 123°3'                           | + 143°11',5         | 138°42',5        | — 15°35',2                    | + 4°29',3    | + 0,39104  | — 0,10958  | + 0,0322   |
| 27      | + 54°,2                                                                                         | + 6°,4     | — 144°,4    | + 40°,7    | 1875,0   | + 54°,5                            | — 144°,1            | 138°,9           | — 84°,4                       | + 77°,0      | + 0,0970   | — 0,9890   | + 0,0322   |
| 28      | — 4°,8                                                                                          | + 29°,5    | + 124°,4    | + 6°,0     | 1875,0   | — 4°,5                             | + 124°,7            | 137°,7           | — 142°,2                      | — 13°,0      | — 0,6878   | — 0,5335   | + 0,0322   |
| 29      | + 7°,3                                                                                          | + 24°,3    | + 140°,1    | + 10°,8    | 1875,0   | + 7°,6                             | + 140°,4            | 137°,7           | — 130°,1                      | + 140°,4     | — 0,5870   | — 0,6971   | + 0,0322   |
| 30      | + 44°,9                                                                                         | + 9°,5     | — 154°,5    | + 37°,5    | 1875,0   | + 45°,2                            | — 154°,2            | 139°,0           | — 93°,8                       | + 6°,8       | — 0,0654   | — 0,9841   | + 0,0322   |
| 31      | — 52°,5                                                                                         | + 53°,1    | — 62°,2     | + 46°,8    | 1855,0   | — 51°,9                            | — 61°,6             | 137°,4           | + 170°,7                      | + 161°,0     | — 0,5925   | + 0,0979   | + 0,0322   |

| $x_2$    | $y_2$    | $z_2$    | $u$      | $v$      | $w$      | $U$      | $V$      | $W$      | $t = \frac{\odot - \odot_0}{t}$ | $\frac{X_0}{V} \frac{Y_0}{Y_0}$ | $\frac{Z_0}{V} \frac{Y_0}{Y_0}$ | $\frac{X_0}{U - V} \frac{Y_0}{Y_0}$ | $\frac{Z_0}{W - V} \frac{Y_0}{Y_0}$ | $\frac{X_0}{(U - V)} \frac{Y_0}{Y_0}$ | $\frac{Z_0}{(W - V)} \frac{Y_0}{Y_0}$ | $\frac{U_b + V_c + W_d}{U X_0 + V Y_0 + W Z_0}$ |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| -0,2788  | -0,3796  | +0,8821  | -0,1777  | -0,2027  | -0,1434  | -0,5817  | -0,6635  | -0,4694  | -20,39                          | -0,1532                         | +0,5321                         | -0,7349                             | -1,0015                             | +14,9846                              | +20,4206                              | +0,1211                                         |
| -0,8788  | -0,1518  | +0,4524  | -0,0069  | -0,0173  | -0,0193  | -0,2573  | -0,6450  | -0,7196  | -12,83                          | +0,1489                         | +0,5172                         | -0,4062                             | -1,2368                             | +5,2115                               | +15,8681                              | +0,0104                                         |
| -0,1873  | +0,9729  | +0,1357  | +0,7692  | +0,1444  | -0,0252  | +0,9823  | +0,1844  | -0,0335  | -8,65                           | -0,0425                         | -0,1478                         | +1,0248                             | +0,1143                             | -8,8645                               | -0,9887                               | +0,0039                                         |
| -0,4704  | +0,2134  | +0,8563  | -0,1544  | -0,0873  | -0,0630  | -0,8208  | -0,4641  | -0,3349  | -7,67                           | +0,1071                         | +0,3721                         | -0,9279                             | -0,7070                             | +7,1170                               | +5,4227                               | +0,0112                                         |
| -0,9446  | -0,3234  | +0,0558  | +0,1534  | +0,5635  | +0,6695  | +0,1727  | +0,6343  | +0,7536  | -7,23                           | -0,1464                         | -0,5086                         | +0,3191                             | +1,2622                             | -2,3071                               | -9,1257                               | +0,0076                                         |
|          |          |          |          |          |          | +0,55869 | +0,59184 | +0,58106 | -5,925                          | -0,1366                         | -0,4746                         | +0,6953                             | +1,0557                             | -4,1197                               | -6,2550                               | -0,0028                                         |
| -0,5501  | +0,5717  | +0,6088  | -0,2767  | +0,0903  | +0,1653  | -0,8265  | +0,2697  | +0,4937  | -5,13                           | -0,0622                         | -0,2162                         | -0,7643                             | -0,7099                             | +3,9209                               | -3,6418                               | -0,0378                                         |
| -0,63127 | -0,66950 | +0,39151 | +0,00988 | +0,02480 | +0,02661 | +0,26171 | +0,65930 | +0,70486 | -4,35                           | -0,1522                         | -0,5286                         | +0,4139                             | +1,2335                             | -1,8005                               | -5,3657                               | -0,0292                                         |
| -0,33619 | -0,27658 | +0,90027 | -0,07217 | -0,05296 | +0,4322  | -0,72603 | -0,53278 | -0,43479 | -3,18                           | +0,1230                         | -0,4272                         | +0,8490                             | -0,8620                             | +2,6998                               | +2,7412                               | +0,0159                                         |
| -0,9857  | -0,1088  | +0,1288  | -0,0327  | +0,5264  | +0,6950  | -0,0375  | +0,6033  | +0,7965  | -1,33                           | -0,1393                         | -0,4877                         | +0,1018                             | -1,2802                             | -0,1354                               | -1,7027                               | +0,0150                                         |
| -0,7855  | -0,6181  | +0,0314  | +0,4005  | +0,5367  | +0,5470  | +0,4632  | +0,6907  | +0,6327  | -1,01                           | -0,1433                         | -0,4976                         | +0,6065                             | +1,1303                             | -0,6126                               | -1,1416                               | -0,0075                                         |
| -0,6385  | -0,7691  | +0,0279  | +0,5606  | +0,4794  | +0,3838  | +0,6746  | +0,5769  | +0,4606  | -0,45                           | -0,1332                         | -0,4625                         | +0,8078                             | +0,9231                             | -0,3635                               | -0,4154                               | -0,0481                                         |
| -0,24672 | -0,41333 | +0,87652 | -0,05314 | -0,04539 | -0,03637 | -0,67450 | -0,57613 | -0,46164 | -0,45                           | +0,1330                         | +0,4620                         | -0,8075                             | -0,9236                             | +0,3634                               | +0,4156                               | +0,0470                                         |
| -0,6072  | -0,7941  | +0,0207  | +0,5847  | +0,4611  | +0,3734  | +0,7019  | +0,5536  | +0,4483  | -1,68                           | -0,1278                         | -0,4438                         | +0,8297                             | +0,8921                             | -1,3939                               | -1,4987                               | -0,0252                                         |
| -0,45944 | -0,33698 | +0,82181 | -0,12199 | -0,12482 | -0,11931 | -0,57700 | -0,59039 | -0,56433 | -0,93                           | +0,1363                         | +0,4734                         | -0,7133                             | -1,0377                             | +0,6634                               | +0,9651                               | +0,0088                                         |
| -0,89616 | -0,32958 | -0,29710 | +0,06612 | -0,08076 | -0,10984 | +0,43638 | -0,53300 | -0,72492 | -2,05                           | +0,1230                         | +0,4273                         | +0,3134                             | -1,1522                             | -0,6362                               | +2,3390                               | +0,0384                                         |
| -0,80221 | +0,37086 | +0,37096 | +0,08171 | -0,14097 | -0,20181 | +0,31503 | -0,54351 | -0,77803 | -1,97                           | +0,1255                         | +0,4357                         | +0,1895                             | -1,2138                             | -0,3733                               | +2,3912                               | -0,0018                                         |
| -0,46371 | -0,80345 | +0,37339 | -0,07872 | -0,13466 | -0,19199 | -0,31823 | -0,54437 | -0,77612 | -1,97                           | +0,1257                         | +0,4365                         | -0,4139                             | -1,2126                             | +0,8745                               | +2,3888                               | -0,1103                                         |
| +0,4427  | -0,8956  | +0,0454  | +0,6903  | +0,3531  | +0,2324  | +0,8525  | +0,4360  | +0,2882  | +0,20                           | -0,1007                         | -0,3496                         | +0,9532                             | +0,6378                             | +0,1906                               | +0,1276                               | -0,0134                                         |
| -0,92883 | +0,05179 | +0,36688 | -0,10097 | -0,21608 | -0,22512 | -0,30787 | -0,65884 | -0,68641 | -1,178                          | +0,1521                         | +0,5283                         | -0,1600                             | -1,2147                             | +0,5419                               | +1,4309                               | +0,0280                                         |
| +0,8491  | -0,5265  | +0,0436  | +0,3150  | +0,5559  | +0,5786  | +0,3654  | +0,6449  | +0,6712  | +0,47                           | -0,1489                         | -0,5171                         | +0,5143                             | +1,1883                             | +0,2417                               | +0,5585                               | -0,0189                                         |
| -0,7493  | -0,0682  | +0,6587  | -0,4131  | -0,5344  | -0,5253  | +0,4828  | -0,6246  | -0,6140  | +0,52                           | +0,1442                         | +0,5009                         | -0,6270                             | -1,1149                             | -0,3260                               | -0,5797                               | +0,0207                                         |
| -0,4091  | +0,0677  | +0,9100  | -0,2424  | -0,1378  | -0,0987  | -0,8195  | -0,4659  | -0,3337  | -1,13                           | +0,1076                         | +0,3736                         | -0,9271                             | -0,7073                             | +1,0476                               | +0,7992                               | +0,0121                                         |
| +0,7219  | +0,5471  | +0,2438  | +0,5184  | +0,3025  | +0,5095  | -0,6656  | +0,3812  | +0,6417  | +0,47                           | -0,0880                         | -0,3057                         | -0,5776                             | +0,9474                             | -0,2715                               | +0,4453                               | -0,0264                                         |
| +0,2266  | +0,7410  | +0,6320  | -0,7387  | +0,0588  | +0,1995  | -0,9628  | +0,0727  | +0,2600  | +0,55                           | -0,0167                         | -0,0583                         | -0,9461                             | +0,3183                             | -0,5204                               | +0,1751                               | -0,0749                                         |
| +0,41149 | +0,03230 | +0,91084 | -0,12933 | +0,01983 | +0,05772 | -0,90413 | +0,13860 | +0,40325 | +1,358                          | -0,0320                         | -0,1111                         | -0,8721                             | +0,5146                             | -1,1843                               | +0,6988                               | -0,0057                                         |
| +0,1706  | +0,7387  | +0,6521  | -0,7273  | -0,0443  | +0,2403  | -0,9479  | -0,0577  | +0,3132  | +1,58                           | +0,0133                         | +0,0463                         | -0,9612                             | +0,2669                             | -0,5187                               | +0,4217                               | +0,0815                                         |
| +0,0690  | +0,2238  | +0,1045  | +0,0544  | +0,5490  | +0,6709  | +0,0626  | +0,6321  | +0,7724  | +0,32                           | -0,1459                         | -0,5069                         | +0,2085                             | +1,2793                             | +0,0667                               | +0,4094                               | +0,0037                                         |
| -0,9812  | +0,0463  | +0,1874  | -0,1497  | +0,5138  | +0,6568  | +0,1767  | +0,6065  | -0,7753  | +0,33                           | -0,1400                         | -0,4864                         | -0,0367                             | +1,2617                             | -0,0121                               | +0,4164                               | -0,0148                                         |
| -0,3125  | +0,7292  | +0,6088  | -0,7194  | +0,0913  | +0,2599  | -0,9339  | +0,1185  | +0,3374  | +1,65                           | -0,0274                         | -0,0950                         | -0,9065                             | +0,4324                             | -1,4957                               | +0,7135                               | -0,0410                                         |
| -0,6472  | +0,2229  | -0,7290  | -0,1076  | -0,0857  | -0,0693  | -0,6992  | -0,5569  | -0,4503  | +0,07                           | +0,1286                         | +0,4466                         | -0,8278                             | -0,8969                             | -0,0579                               | -0,0627                               | +0,0320                                         |

| Météore | $\lambda_1$ | $\beta_1$ | $\lambda_2$ | $\beta_2$ | Equinoxe | $\lambda_{1900,0}$ | $\lambda_{21900,0}$ | $\odot 1900,0$ | $\lambda'_1$ | $\lambda'_2$ | $x_1$    | $y_1$    | $z_1$ |
|---------|-------------|-----------|-------------|-----------|----------|--------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------|----------|----------|-------|
| 32      | + 44°2      | + 9°3     | -157°9      | + 36°3    | 1875,0   | + 44°5             | -157°6              | 139°1          | - 94°8       | + 63°1       | -0,0826  | -0,9835  | +0,1  |
| 33      | + 69°9      | + 39°6    | + 74°8      | + 39°7    | 1855,0   | + 70°5             | + 75°4              | 137°5          | - 67°0       | - 62°1       | +0,3010  | -0,7092  | +0,6  |
| 34      | + 64°2'2    | + 36°7'5  | + 64°59'6   | + 28°34'7 | 1855,0   | + 64°39'9          | + 65°37'3           | 138°9'0        | - 73°29'1    | - 72°31'7    | +0,24587 | -0,82925 | +0,5  |
| 35      | - 42°9      | + 42°7    | + 94°2      | + 1°6     | 1875,0   | - 42°6             | + 94°5              | 138°8          | -181°4       | - 44°3       | -0,7347  | +0,0179  | +0,6  |
| 36      | + 8°3       | + 23°8    | +139°1      | + 10°5    | 1875,0   | + 8°6              | +139°4              | 138°6          | -130°0       | + 0°6        | -0,5882  | -0,7009  | +0,4  |
| 37      | + 31°7      | + 13°8    | +178°1      | + 26°5    | 1875,0   | + 32°0             | +178°4              | 138°7          | -106°7       | + 39°7       | -0,2791  | -0,9301  | +0,2  |
| 38      | - 37°7      | + 22°0    | - 45°4      | + 15°7    | 1855,0   | - 37°1             | - 44°8              | 138°8          | -175°9       | + 176°4      | -0,9248  | -0,0663  | +0,3  |
| 39      | - 30°15'9   | + 9°2'1   | - 24°51'6   | + 12°58'6 | 1855,0   | - 29°38'2          | - 24°13'9           | 138°29'6       | -168°7'8     | -162°43'5    | -0,96648 | -0,20314 | +0,1  |
| 40      | -130°8      | + 44°1    | + 56°1      | + 5°9     | 1875,0   | -130°5             | + 56°4              | 138°6          | + 90°9       | - 82°2       | -0,0113  | +0,7180  | +0,6  |
| 41      | - 61°3      | + 46°3    | + 84°2      | + 1°7     | 1875,0   | - 61°0             | + 84°5              | 138°6          | +160°4       | - 54°1       | -0,6509  | +0,2318  | +0,7  |
| 42      | - 32°1      | + 39°7    | +101°4      | + 2°1     | 1875,0   | - 31°8             | +101°7              | 138°6          | -170°4       | - 36°9       | -0,7586  | -0,1283  | +0,6  |
| 43      | + 87°2      | + 20°4    | + 89°2      | + 18°4    | 1855,0   | + 87°8             | + 89°8              | 138°4          | - 50°6       | - 48°6       | +0,5949  | -0,7243  | +0,3  |
| 44      | + 56°22'9   | + 23°33'6 | + 55°34'0   | + 19°27'3 | 1855,0   | + 57°7'6           | + 56°11'7           | 138°53'5       | - 78°46'3    | - 82°41'8    | +0,17849 | -0,89010 | +0,3  |
| 45      | + 50°15'6   | + 4°7'8   | + 48°26'5   | - 2°47'2  | 1855,0   | + 50°53'3          | + 49°4'2            | 139°2'6        | - 88°9'3     | - 2°47'2     | +0,03211 | -0,99689 | +0,0  |
| 46      | -131°2      | + 44°0    | + 57°1      | + 5°6     | 1875,0   | -130°9             | + 57°4              | 138°6          | + 90°5       | - 81°2       | -0,0063  | +0,7193  | +0,6  |
| 47      | - 69°6      | + 47°4    | + 80°5      | + 1°9     | 1875,0   | - 69°3             | + 80°8              | 138°6          | +152°1       | - 57°8       | -0,5982  | +0,3167  | +0,7  |
| 48      | -130°8      | + 44°1    | + 56°1      | + 5°9     | 1875,0   | -130°5             | + 56°4              | 138°6          | + 90°9       | - 82°2       | -0,0113  | +0,7180  | +0,6  |
| 49      | + 57°33'3   | + 44°45'1 | + 57°14'2   | + 45°39'5 | 1855,0   | + 58°11'0          | + 57°51'9           | 138°43'0       | - 80°32'0    | + 57°51'9    | +0,11680 | -0,70047 | +0,7  |
| 50      | - 82°2      | + 48°3    | + 75°4      | + 2°4     | 1875,0   | - 81°9             | + 75°7              | 139°7          | + 138°4      | - 64°0       | -0,4974  | +0,4416  | +0,7  |
| 51      | + 71°1'4    | + 40°50'1 | + 71°24'9   | + 40°48'8 | 1855,0   | + 71°39'1          | + 72°2'6            | 139°36'0       | - 67°56'9    | - 67°33'4    | +0,2846  | -0,70125 | -0,6  |
| 52      | + 6°2       | + 24°7    | +138°7      | + 10°3    | 1875,0   | + 6°5              | +139°0              | 139°5          | -133°0       | - 0°5        | -0,6196  | -0,6645  | +0,4  |
| 53      | + 48°3      | + 8°0     | -162°4      | + 34°7    | 1875,0   | + 48°6             | -162°1              | 139°6          | - 91°0       | + 58°3       | -0,0173  | -0,9901  | +0,1  |
| 54      | -102°5      | + 48°0    | + 67°7      | + 3°4     | 1875,0   | +118°2             | + 68°0              | 139°6          | +118°2       | - 71°6       | -0,3162  | +0,5897  | +0,7  |
| 55      | - 36°7      | + 67°3    | - 61°8      | + 58°9    | 1855,0   | - 36°1             | - 61°2              | 140°2          | -176°3       | + 158°6      | -0,3851  | -0,0249  | +0,9  |
| 56      | + 59°3      | - 0°9     | + 61°4      | + 6°4     | 1855,0   | + 59°9             | + 62°0              | 140°0          | - 80°1       | - 78°0       | +0,1719  | -0,9850  | -0,0  |
| 57      | + 64°13'3   | + 57°1'9  | + 65°46'3   | + 61°32'1 | 1855,0   | + 64°51'0          | + 66°24'0           | 140°24'        | - 75°32'8    | - 73°59'8    | +0,13582 | -0,52695 | +0,8  |
| 58      | + 43°5      | + 9°7     | -158°2      | + 36°2    | 1875,0   | + 43°8             | -157°9              | 141°4          | - 97°6       | + 60°7       | -0,1304  | -0,9770  | +0,1  |
| 59      | - 0°46'2    | + 45°46'7 | + 19°35'7   | + 47°28'1 | 1855,0   | - 0°8'5            | + 20°33'4           | 141°5'9        | -141°14'4    | -120°32'5    | -0,54384 | -0,43664 | +0,7  |
| 60      | - 30°8      | + 10°3    | - 42°8      | + 0°4     | 1855,0   | - 30°2             | - 42°2              | 141°9          | -172°1       | + 175°9      | -0,9746  | -0,1352  | +0,1  |
| 61      | 0°0         | + 41°3    | - 19°2      | + 35°3    | 1855,0   | + 0°6              | - 18°6              | 142°9          | -142°3       | - 161°5      | -0,5944  | -0,4594  | +0,6  |
| 62      | - 82°3      | + 20°9    | - 82°8      | + 20°0    | 1855,0   | - 81°7             | - 82°2              | 145°5          | + 132°8      | + 132°3      | -0,6347  | +0,6854  | +0,3  |

(suite)

| $x_2$    | $y_2$    | $z_2$    | $u$      | $v$      | $w$      | $U$      | $V$      | $W$      | $t = \odot - \odot_0$ | $\frac{X_0}{V \bar{Y}_0}$ | $\frac{Z_0}{V \bar{Y}_0}$ | $\frac{X_0}{U - V \bar{Y}_0}$ | $\frac{Z_0}{W - V \bar{Y}_0}$ | $\left(\frac{X_0}{U - V \bar{Y}_0}\right)_t$ | $\left(\frac{Z_0}{W - V \bar{Y}_0}\right)_t$ | $\begin{matrix} I^b + V_c + Wd \\ + UX_0 + VY_0 \\ + WZ_0 \end{matrix}$ |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| +0,3646  | +0,7187  | +0,5920  | -0,6983  | +0,1071  | +0,2992  | -0,9102  | +0,1396  | +0,3900  | +1,70                 | -0,0332                   | -0,1119                   | -0,8780                       | +0,5019                       | -1,4926                                      | +0,8532                                      | -0,0344                                                                 |
| +0,3600  | -0,6800  | +0,6388  | -0,0196  | +0,0372  | +0,0506  | -0,2956  | +0,5610  | +0,7632  | +0,10                 | -0,1295                   | -0,4499                   | -0,1661                       | +1,2131                       | -0,0166                                      | +0,1213                                      | -0,0145                                                                 |
| +0,26366 | -0,83765 | +0,47836 | +0,02372 | +0,01471 | +0,01268 | +0,77390 | +0,47979 | +0,41365 | +0,793                | -0,1108                   | -0,3848                   | +0,8847                       | +0,7984                       | +0,7016                                      | +0,6331                                      | +0,0017                                                                 |
| +0,7154  | -0,6981  | +0,0279  | +0,4740  | +0,5057  | +0,5001  | +0,5546  | +0,5917  | +0,5851  | +1,45                 | -0,1366                   | -0,4745                   | +0,6912                       | +1,0596                       | +1,0022                                      | +1,5364                                      | +0,0051                                                                 |
| +0,9832  | +0,0103  | +0,1822  | -0,1319  | +0,5039  | +0,6830  | -0,1535  | +0,5866  | +0,7951  | +1,28                 | -0,1354                   | -0,4704                   | -0,0181                       | +1,2655                       | -0,0232                                      | +1,6198                                      | +0,0078                                                                 |
| +0,6885  | +0,5717  | +0,4462  | -0,5514  | +0,2887  | +0,4808  | -0,7012  | +0,3671  | +0,6114  | +1,31                 | -0,0848                   | -0,2944                   | -0,6164                       | +0,9058                       | -0,8095                                      | +1,1896                                      | -0,0195                                                                 |
| -0,9608  | +0,0605  | +0,2706  | -0,0406  | -0,1096  | -0,1197  | -0,2431  | -0,6563  | -0,7168  | +1,46                 | +0,1515                   | +0,5263                   | -0,3946                       | -1,2431                       | -0,5722                                      | -1,8025                                      | +0,0276                                                                 |
| -0,93050 | -0,28937 | +0,22455 | +0,00017 | +0,07090 | +0,09065 | +0,00150 | +0,61607 | +0,78767 | +1,142                | -0,1422                   | -0,4941                   | +0,1437                       | +1,2818                       | +0,1641                                      | +1,4638                                      | +0,0098                                                                 |
| +0,1350  | -0,9854  | +0,1028  | +0,7595  | +0,0951  | -0,0858  | +0,9861  | +0,1235  | -0,1114  | +1,22                 | -0,0285                   | -0,0990                   | +1,0146                       | -0,0124                       | +1,2378                                      | -0,0151                                      | +0,0066                                                                 |
| +0,5862  | -0,8097  | +0,0297  | +0,5923  | +0,4431  | +0,3911  | +0,7079  | +0,5296  | +0,4674  | +1,22                 | -0,1223                   | -0,4247                   | +0,8302                       | +0,8921                       | +1,0128                                      | +1,0884                                      | +0,0001                                                                 |
| +0,7991  | -0,6000  | +0,0366  | +0,3786  | +0,5383  | +0,5577  | +0,4389  | +0,6241  | +0,6465  | +1,23                 | -0,1441                   | -0,5005                   | +0,5380                       | +1,1470                       | +0,7171                                      | +1,4108                                      | -0,0077                                                                 |
| +0,6275  | -0,7118  | +0,3156  | +0,0195  | +0,0309  | +0,0311  | +0,3988  | +0,6319  | +0,6360  | +1,07                 | -0,1459                   | -0,5067                   | +0,5447                       | +1,1427                       | +0,5828                                      | +1,2227                                      | -0,0270                                                                 |
| +0,11987 | -0,93525 | +0,33307 | +0,07437 | -0,01154 | -0,05916 | +0,97982 | +0,05716 | -0,19211 | +1,542                | -0,0132                   | -0,0459                   | +0,9930                       | -0,1462                       | +0,5312                                      | -0,2254                                      | +0,0084                                                                 |
| +0,00046 | -0,99882 | -0,04862 | +0,12040 | +0,00159 | -0,03161 | +0,96719 | +0,01281 | -0,25393 | +1,697                | -0,0029                   | -0,0103                   | +0,9701                       | -0,2436                       | +1,6463                                      | -0,4134                                      | +0,0021                                                                 |
| +0,1523  | -0,9835  | +0,0976  | -0,7534  | +0,1064  | -0,1033  | +0,9812  | +0,1386  | +0,1345  | +1,23                 | -0,0320                   | -0,1111                   | +1,0132                       | -0,0234                       | +1,2462                                      | -0,0288                                      | -0,0195                                                                 |
| +0,5326  | -0,8458  | +0,0332  | +0,6331  | +0,4119  | +0,3373  | +0,7654  | +0,4979  | +0,4078  | +1,25                 | -0,1149                   | -0,3993                   | +0,8803                       | +0,8071                       | +1,1004                                      | +1,0089                                      | +0,0004                                                                 |
| +0,1350  | -0,9854  | +0,1028  | +0,7595  | +0,0951  | -0,0858  | +0,9861  | +0,1235  | -0,1114  | +1,25                 | -0,0285                   | -0,0990                   | +1,0146                       | -0,0124                       | +1,2683                                      | -0,0155                                      | +0,0088                                                                 |
| +0,11126 | -0,69087 | +0,71437 | -0,01399 | -0,00511 | -0,00276 | -0,92246 | -0,33681 | -0,18199 | +1,367                | +0,0777                   | +0,2701                   | -1,0002                       | -0,4521                       | -1,3673                                      | -0,6180                                      | -0,0054                                                                 |
| +0,4380  | -0,8980  | +0,0419  | +0,6889  | +0,3478  | +0,2533  | +0,8481  | +0,4282  | +0,3143  | +2,38                 | -0,0989                   | -0,3434                   | +0,9470                       | +0,6577                       | +2,2539                                      | +1,5653                                      | +0,0192                                                                 |
| +0,28894 | -0,69952 | +0,65360 | -0,00093 | +0,00327 | +0,00391 | -0,01792 | +0,06297 | +0,07533 | +2,25                 | -0,0145                   | -0,0545                   | -0,0034                       | +0,1258                       | -0,0077                                      | +0,2831                                      | -0,0055                                                                 |
| +0,9839  | -0,0086  | +0,1788  | -0,1152  | +0,5220  | +0,6591  | -0,1358  | +0,6151  | -0,7767  | +2,155                | -0,1420                   | -0,4932                   | +0,0062                       | +1,2699                       | +0,0134                                      | +2,7366                                      | -0,0195                                                                 |
| +0,4320  | +0,6994  | +0,5693  | -0,6611  | +0,0699  | +0,4156  | -0,8432  | +0,0892  | +0,5301  | +2,227                | -0,0206                   | -0,0715                   | -0,8226                       | +0,6016                       | -1,8317                                      | +1,3396                                      | +0,1060                                                                 |
| +0,3150  | -0,9472  | +0,0593  | +0,7389  | +0,2529  | +0,1137  | +0,9363  | +0,3204  | +0,1441  | +2,245                | -0,0740                   | -0,2569                   | +1,0103                       | +0,4010                       | +2,2681                                      | +0,9002                                      | +0,0054                                                                 |
| -0,4809  | +0,1865  | +0,8563  | -0,1952  | -0,1138  | -0,0846  | -0,8083  | -0,4712  | -0,3503  | +2,817                | +0,1088                   | +0,3778                   | -0,9171                       | -0,7281                       | -2,5832                                      | -2,0508                                      | +0,0107                                                                 |
| +0,2066  | -0,9721  | +0,1115  | -0,1251  | -0,0224  | +0,0364  | -0,9456  | -0,1693  | +0,2751  | +2,60                 | +0,0391                   | +0,1358                   | -0,9847                       | +0,1393                       | -2,5602                                      | +0,3622                                      | +0,1264                                                                 |
| +0,13140 | -0,45815 | +0,87911 | -0,07888 | -0,00916 | +0,00705 | -0,98943 | -0,11489 | +0,08837 | +3,047                | +0,0265                   | +0,0921                   | -1,0159                       | -0,0037                       | -3,0951                                      | -0,0113                                      | -0,0438                                                                 |
| +0,3949  | +0,7038  | +0,5906  | -0,6956  | +0,1435  | +0,2940  | -0,9049  | +0,1867  | +0,3825  | +4,0823               | -0,0431                   | -0,1497                   | -0,8618                       | +0,5322                       | -3,5232                                      | +2,1758                                      | -0,0636                                                                 |
| -0,34352 | -0,58221 | +0,73690 | +0,09548 | +0,15458 | +0,16664 | +0,38728 | +0,62701 | +0,67592 | +3,748                | -0,1448                   | -0,5028                   | +0,5321                       | +1,1787                       | +1,9945                                      | +4,4181                                      | -0,0019                                                                 |
| -0,9974  | +0,0715  | +0,0070  | -0,0137  | -0,1715  | -0,2045  | -0,0513  | -0,6418  | -0,7653  | +4,593                | +0,1482                   | +0,5146                   | -0,1995                       | -1,2799                       | -0,9164                                      | -5,8790                                      | +0,0135                                                                 |
| -0,7739  | -0,2859  | +0,5779  | -0,0945  | -0,1673  | -0,2016  | -0,3394  | -0,6009  | -0,7241  | +5,525                | +0,1387                   | +0,4819                   | -0,4781                       | -1,2060                       | -2,6415                                      | -6,6631                                      | -0,0418                                                                 |
| -0,6324  | +0,6950  | +0,3420  | -0,0135  | -0,0085  | -0,0077  | -0,6750  | -0,4250  | -0,3850  | +8,147                | +0,0981                   | +0,3408                   | -0,7731                       | -0,7258                       | -6,2982                                      | -5,9129                                      | -0,0010                                                                 |

19. — *Le déplacement du radiant.* — Le tableau III retrace le calcul des coefficients de l'équation (22), coefficients qui sont donnés par les quatre dernières colonnes de ce tableau. En égalant à 0 les premiers membres des équations du type (22) relatives aux 62 météores étudiés, on obtient :

$$(43) \quad \left\{ \begin{array}{l} -0,7349\xi - 1,0015\zeta + 14,9846\mu + 20,4206\sigma + 0,1211 = 0 \\ -0,4062\xi - 1,2368\zeta + 5,2115\mu + 15,8681\sigma + 0,0104 = 0 \\ \dots\dots\dots \text{etc.} \dots\dots\dots \end{array} \right.$$

La résolution de ces 62 équations par la méthode des moindres carrés conduit aux équations normales suivantes :

$$(44) \quad \left\{ \begin{array}{l} 33,0491\xi + 16,0621\zeta + 0,7283\mu - 25,9837\sigma - 0,2271 = 0 \\ 16,0231\xi + 51,7533\zeta - 25,9833\mu - 38,6942\sigma + 0,4502 = 0 \\ 0,7283\xi - 25,9833\zeta + 561,0744\mu + 562,1547\sigma + 1,8397 = 0 \\ -25,9837\xi - 38,6942\zeta + 562,1547\mu + 1075,2359\sigma + 2,9580 = 0. \end{array} \right.$$

qui donnent pour solution :

$$(45) \quad \left\{ \begin{array}{l} \xi = + 0,0025 \\ \zeta = + 0,0059 \\ \mu = - 0,0011 \\ \sigma = - 0,0019. \end{array} \right.$$

En portant ces valeurs dans les équations de condition, on obtient les résidus suivants qui sont égaux aux sinus des distances du radiant théorique aux diverses traînées des météores. Les valeurs correspondantes de  $|\varepsilon|$  sont également données dans le tableau suivant (voir page 61).

Les météores 18, 53, et 56 s'écartent du radiant théorique respectivement de  $7^0,1$ ,  $6^0,1$  et  $7^0,2$ . Ces valeurs sont très nettement supérieures aux écarts présentés par les autres météores ; nous considérerons donc ces météores comme sporadiques <sup>(1)</sup> et nous les excluerons de notre détermination du déplacement du radiant. Si l'on détermine de nouveau les équations normales en excluant ces trois météores, on obtient :

$$(46) \quad \left\{ \begin{array}{l} 31,2058\xi + 16,1169\zeta - 2,9113\mu - 23,4646\sigma - 0,0646 = 0 \\ 16,1169\xi + 49,9016\zeta - 23,4643\mu - 36,6359\sigma - 0,6659 = 0 \\ -2,9113\xi - 23,4643\zeta + 550,3999\mu + 563,4467\sigma - 2,4544 = 0 \\ -23,4646\xi - 36,6359\zeta + 563,4467\mu + 1067,6038\sigma + 3,0349 = 0. \end{array} \right.$$

ce qui donne :

$$(47) \quad \left\{ \begin{array}{l} \xi = - 0,0057 \pm 0,0034 \\ \zeta = + 0,0131 \pm 0,0027 \\ \mu = - 0,0029 \pm 0,0010 \\ \sigma = - 0,0010 \pm 0,0008 \end{array} \right.$$

les quantités  $\pm 0,0034$ , étant les erreurs probables.

De ces résultats, on tire d'après les équations (11)

$$\begin{aligned} x_0 &= X_0 + \xi = + 0,1716 \\ z_0 &= Z_0 + \zeta = + 0,6288, \end{aligned}$$

quant à  $y_0$  il est donné par l'équation :

$$y_0^2 = 1 - x_0^2 - z_0^2,$$

et en remarquant que  $y_0$ , toujours peu différent de  $Y_0$ , doit avoir le même signe que cette quantité :

$$y_0 = -\sqrt{1 - x_0^2 - z_0^2} = - 0,7584.$$

<sup>(1)</sup> La présence de météores sporadiques parmi les étoiles filantes étudiées n'est pas surprenante, puisque, dans l'étude préliminaire, nous avons adopté tous les météores qui passaient à moins de 10 degrés du radiant de Denning.

| Météore | $\sin z$ | $ z $ | Météore | $\sin z$ | $ z $ |
|---------|----------|-------|---------|----------|-------|
| 1       | + 0,0581 | 3,3   | 32      | — 0,0336 | 1,4   |
| 2       | — 0,0337 | 1,9   | 33      | — 0,0080 | 0,5   |
| 3       | + 0,0189 | 1,1   | 34      | + 0,0066 | 0,4   |
| 4       | + 0,0133 | 0,6   | 35      | + 0,0090 | 0,5   |
| 5       | + 0,0355 | 2,0   | 36      | + 0,0121 | 0,7   |
| 6       | + 0,0217 | 1,2   | 37      | — 0,0180 | 1,0   |
| 7       | — 0,0330 | 1,9   | 38      | + 0,0233 | 1,3   |
| 8       | — 0,0088 | 0,5   | 39      | + 0,0147 | 0,8   |
| 9       | — 0,0153 | 0,0   | 40      | + 0,0076 | 0,4   |
| 10      | + 0,0260 | 1,5   | 41      | + 0,0043 | 0,2   |
| 11      | + 0,0032 | 0,2   | 42      | — 0,0030 | 0,2   |
| 12      | + 0,0084 | 2,3   | 43      | — 0,0218 | 1,3   |
| 13      | — 0,0084 | 2,2   | 44      | + 0,0087 | 0,5   |
| 14      | — 0,0136 | 0,8   | 45      | — 0,0021 | 0,1   |
| 15      | — 0,0013 | 0,1   | 46      | — 0,0184 | 1,1   |
| 16      | — 0,0288 | 1,6   | 47      | + 0,0042 | 0,2   |
| 17      | — 0,0065 | 0,4   | 48      | + 0,0098 | 0,6   |
| 18      | — 0,1243 | 7,1   | 49      | — 0,0079 | 0,5   |
| 19      | — 0,0078 | 0,4   | 50      | + 0,0200 | 1,1   |
| 20      | — 0,0052 | 1,3   | 51      | — 0,0052 | 0,3   |
| 21      | — 0,0122 | 0,7   | 52      | — 0,0172 | 1,0   |
| 22      | — 0,0201 | 1,2   | 53      | + 0,1069 | 6,1   |
| 23      | + 0,0087 | 0,2   | 54      | — 0,0439 | 0,3   |
| 24      | — 0,0221 | 1,3   | 55      | + 0,0098 | 0,6   |
| 25      | — 0,0750 | 4,3   | 56      | + 0,1258 | 7,2   |
| 26      | — 0,0047 | 0,3   | 57      | — 0,0439 | 2,5   |
| 27      | + 0,0816 | 4,7   | 58      | — 0,0639 | 3,7   |
| 28      | + 0,0108 | 0,6   | 59      | — 0,0062 | 0,4   |
| 29      | — 0,0083 | 0,3   | 60      | + 0,0186 | 1,1   |
| 30      | — 0,0405 | 2,3   | 61      | — 0,0335 | 1,9   |
| 31      | + 0,0249 | 1,9   | 62      | + 0,0119 | 0,7   |

Enfin  $v$  est donné par l'équation :

$$v = - \frac{x_0 \mu + z_0 \sigma}{y_0}$$

Les quantités  $x_0, y_0, z_0, \mu, v, \sigma$  étant connues, il est maintenant possible de calculer, pour diverses valeurs de  $t$ , les coordonnées  $x, y, z$  du radiant par les formules (9) :

$$x = x_0 + \mu t$$

$$y = y_0 + v t$$

$$z = z_0 + \sigma t.$$

Les formules (8) donnent ensuite :

$$(48) \quad \begin{cases} \operatorname{tg} \lambda' = \frac{y}{x} \\ \sin \beta = \frac{z}{x} \end{cases}$$

Le tableau IV donne, pour diverses valeurs de  $t$  :

- 1<sup>o</sup> la longitude du Soleil rapportée à l'équinoxe moyen 1900,0 et déduite de  $t$  par la formule  $\odot = \odot_0 + t$
- 2<sup>o</sup> les coordonnées  $\lambda'$  et  $\beta$  du radiant,
- 3<sup>o</sup> sa longitude  $\lambda$
- 4<sup>o</sup> ses coordonnées équatoriales  $\alpha$  et  $\delta$
- 5<sup>o</sup> les coordonnées  $\alpha_D$  et  $\delta_D$  du radiant de DENNING,
- 6<sup>o</sup> les différences  $\alpha - \alpha_D$  et  $\delta - \delta_D$  entre les coordonnées de notre radiant et celles du radiant de DENNING,
- 7<sup>o</sup> la distance  $\Delta$  de notre radiant au radiant de DENNING.

TABLEAU IV

| $t$  | $\odot$ | $\lambda'$ | $\beta$ | $\lambda$ | $\alpha$ | $\delta$ | $\alpha_D$ | $\delta_D$ | $\alpha - \alpha_D$ | $\delta - \delta_D$ | $\Delta$ |
|------|---------|------------|---------|-----------|----------|----------|------------|------------|---------------------|---------------------|----------|
| — 25 | 112°21' | — 71°18'   | 40°50'  | 41°3'     | 18°56'   | 52°54'   | 16°6       | 49°8       | + 2°3               | + 3°1               | 3°4      |
| — 20 | 117°21' | — 72°30'   | 40°27'  | 44°51'    | 23°28'   | 53°59'   | 21°8       | 51°6       | + 1°7               | + 2°4               | 2°6      |
| — 15 | 122°21' | — 73°42'   | 40°5'   | 48°39'    | 28°11'   | 55°1'    | 27°3       | 53°1       | + 0°9               | + 2°0               | 2°0      |
| — 10 | 127°21' | — 74°54'   | 39°42'  | 52°27'    | 33°5'    | 55°58'   | 33°2       | 54°4       | + 0°1               | + 1°6               | 1°6      |
| — 5  | 132°21' | — 76°5'    | 39°20'  | 56°16'    | 38°12'   | 56°51'   | 39°0       | 55°8       | — 0°8               | + 1°1               | 1°1      |
| 0    | 137°21' | — 77°15'   | 38°58'  | 60°6'     | 43°51'   | 57°42'   | 45°0       | 57°0       | — 1°5               | + 0°6               | 1°1      |
| 5    | 142°21' | — 78°25'   | 38°36'  | 63°56'    | 49°3'    | 58°24'   | 51°3       | 58°2       | — 2°2               | + 0°2               | 1°2      |
| 10   | 147°21' | — 79°53'   | 38°14'  | 67°48'    | 54°49'   | 59°0'    | 57°9       | 59°3       | — 3°1               | — 0°3               | 2°0      |
| 15   | 152°21' | — 80°41'   | 37°52'  | 71°40'    | 60°44'   | 59°27'   |            |            |                     |                     |          |

Nota. Remarquer que la Terre parcourant environ un degré par jour,  $t$  représente sensiblement le nombre de jours écoulés depuis le 10 août avec son signe.

Les coordonnées  $\lambda'$ ,  $\xi$ ,  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\delta$ , de notre radiant se rapportent à l'équinoxe moyen 1900,0. Par contre DENNING n'a pas mentionné à quel équinoxe se rapportent ses coordonnées. Nous les supposons également valables pour l'équinoxe 1900,0. Ses observations ayant été effectuées de 1869 à 1898, l'incertitude porte sur 30 ans au maximum, soit, pour le radiant du 10 août, 0°6 environ en ascension droite, et 0°2 en déclinaison <sup>(1)</sup>.

Les différences  $\alpha - \alpha_D$  et  $\delta - \delta_D$  ont une allure systématique, notre radiant subit un déplacement légèrement différent de celui du radiant de DENNING. Toutefois la différence est faible, puisque  $\Delta$  n'atteint que 3°4 et 2°0 respectivement 25 jours avant ( $t = -25$ ) et 10 jours après le maximum.

**20. — Etude des résidus. Distances des traînées au radiant.** — En portant de nouveau les valeurs trouvées de  $\xi$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  dans les premiers membres des équations (43), on obtient les sinus des distances des diverses traînées au radiant théorique. Toutefois, il est bon de remarquer que  $\varepsilon$  est défini (Fig. 10) par l'équation :

$$(49) \quad \sin \varepsilon = \cos \widehat{POR} = (\vec{OA} \wedge \vec{OB}) \vec{OR}$$

C'est, en effet, cette relation que traduit l'équation (22) de laquelle chacune des équations (43) est déduite en remplaçant les lettres par leurs valeurs. P est celui des pôles de la traînée qui est défini par le produit vectoriel  $\vec{OA} \wedge \vec{OB}$ . Ceci posé, l'équation (49) montre que  $\varepsilon$  est positif si l'angle POR est moindre que 90°, c'est-à-dire si le radiant est situé dans l'hémisphère dont le pôle est P (et qui est découpé dans la sphère par le grand cercle qui contient la traînée). Si le pôle nord E de l'écliptique se trouve lui-même dans cet hémisphère, c'est-à-dire si POE est moindre que 90°, ou si  $w$  est positif, le signe + attribué à  $\varepsilon$  indique que le radiant R se trouve du même côté de la traînée que le pôle nord de l'écliptique, le signe — qu'il se trouve du côté opposé. Si  $w$  est négatif, le signe + attribué à  $\varepsilon$  signifie, au contraire que le radiant se trouve, par rapport à la traînée, du côté opposé du pôle nord de l'écliptique, le signe — qu'il se trouve du même côté. Un même signe attribué à  $\varepsilon$  a donc des significations différentes suivant le signe de  $w$ . Pour éviter cette complication, nous choisirons de toujours choisir l'extrémité de la traînée que nous appelons A et celle que nous appelons B <sup>(2)</sup> de manière que  $w$  soit positif. Si, dans nos calculs,  $w$  s'est trouvé négatif, nous devons changer tous les signes de  $u$ ,  $v$ ,  $w$ , donc tous les signes de l'équation (15), de l'équation (21 bis) et de l'équation (22), c'est-à-dire le signe de  $\sin \varepsilon$ . Le tableau V, donne, pour chaque météore, le résidu de l'équation 43 qui lui est relative, le signe de  $w$ , et  $\varepsilon$  compté comme nous venons de l'indiquer, c'est-à-dire compté positivement quand il se trouve, par rapport à la traînée, du même côté que le pôle nord de l'écliptique.

La moyenne arithmétique des valeurs de  $\varepsilon$  est — 0,084, soit environ — 0°1. Il semble *a priori* que les météores doivent être distribués symétriquement par rapport au radiant, et que, par suite, cette moyenne doit être nulle, mais la moyenne trouvée, — 0°1, est de l'ordre de grandeur de la précision de nos calculs. Les écarts par rapport à la moyenne sont les quantités  $\varepsilon + 0,1$  données dans le tableau V. La dispersion de ces quantités est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon + 0,1)^2}{59}} = 1°44,$$

et leur distribution est donnée dans le tableau VI.

<sup>(1)</sup> D'après la table de variation des coordonnées équatoriales par suite de la précession des équinoxes, donnée dans l'Anuaire Flammarion

<sup>(2)</sup> A et B sont simplement les extrémités des traînées et non pas nécessairement le point d'apparition et le point d'extinction. Dans de nombreux cas, et, en particulier, pour tous les météores du catalogue de Yale le sens du mouvement du météore sur sa trajectoire ne nous était pas connu et ne pouvait être déterminé par le fait que le météore doit s'éloigner du radiant, car le catalogue ne nous donnait que des nombres qui définissaient la trajectoire de l'étoile filante comme un grand cercle de la sphère céleste (le nœud de ce grand cercle sur l'équateur et son inclinaison).

TABLEAU V

| Météore | Résidu   | Signe de $w$ | $\varepsilon$ | $\varepsilon + 0,1$ |
|---------|----------|--------------|---------------|---------------------|
| 1       | + 0,0484 | —            | — 2,8         | — 2,7               |
| 2       | — 0,0345 | —            | + 2,0         | + 2,1               |
| 3       | + 0,0262 | —            | — 1,5         | — 1,4               |
| 4       | — 0,0188 | —            | + 1,1         | + 1,2               |
| 5       | + 0,0380 | +            | + 2,2         | + 2,3               |
| 6       | + 0,0262 | +            | + 1,5         | + 1,6               |
| 7       | — 0,0048 | +            | — 0,3         | — 0,2               |
| 8       | — 0,0319 | +            | — 1,8         | — 1,7               |
| 9       | — 0,0011 | —            | + 0,1         | + 0,2               |
| 10      | + 0,0366 | +            | + 2,1         | + 2,2               |
| 11      | + 0,0067 | +            | + 0,4         | + 0,5               |
| 12      | — 0,0391 | +            | — 2,2         | — 2,1               |
| 13      | + 0,0381 | —            | — 2,2         | — 2,1               |
| 14      | — 0,0128 | +            | — 0,7         | — 0,6               |
| 15      | — 0,0036 | —            | + 0,2         | + 0,3               |
| 16      | + 0,0210 | —            | — 1,2         | — 1,1               |
| 17      | — 0,0202 | —            | + 1,2         | + 1,3               |
| 19      | — 0,0108 | +            | — 0,6         | — 0,5               |
| 20      | + 0,0119 | —            | — 0,7         | — 0,6               |
| 21      | — 0,0073 | +            | — 0,4         | — 0,3               |
| 22      | + 0,0114 | —            | — 0,7         | — 0,6               |
| 23      | + 0,0043 | —            | — 0,2         | — 0,1               |
| 24      | — 0,0103 | +            | — 0,6         | — 0,5               |
| 25      | — 0,0640 | +            | — 3,7         | — 3,6               |
| 26      | + 0,0087 | +            | + 0,5         | + 0,6               |
| 27      | + 0,0945 | +            | + 5,4         | + 5,5               |
| 28      | + 0,0186 | +            | + 1,1         | + 1,2               |
| 29      | + 0,0015 | +            | — 0,1         | + 0,2               |
| 30      | — 0,0265 | +            | — 1,5         | — 1,4               |
| 31      | + 0,0253 | —            | — 1,4         | — 1,3               |
| 32      | — 0,0195 | +            | — 1,1         | — 1,0               |
| 33      | + 0,0021 | +            | + 0,1         | + 0,2               |

TABLEAU V (suite et fin)

| Météore | Résidu   | Signe de $w$ | $\varepsilon$ | $\varepsilon + 0,1$ |
|---------|----------|--------------|---------------|---------------------|
| 34      | + 0,0045 | +            | + 0,3         | + 0,4               |
| 35      | + 0,0107 | +            | + 0,6         | + 0,7               |
| 36      | + 0,0239 | +            | + 1,4         | + 1,5               |
| 37      | — 0,0030 | +            | — 0,2         | — 0,1               |
| 38      | + 0,0170 | —            | — 1,0         | — 0,9               |
| 39      | + 0,0242 | +            | + 1,4         | + 1,5               |
| 40      | — 0,0030 | —            | + 0,2         | + 0,3               |
| 41      | + 0,0031 | +            | + 0,2         | + 0,3               |
| 42      | + 0,0004 | +            | 0,0           | — 0,1               |
| 43      | — 0,0181 | +            | — 1,0         | — 0,9               |
| 44      | — 0,0034 | —            | + 0,2         | + 0,3               |
| 45      | — 0,0109 | —            | + 0,6         | + 0,7               |
| 46      | — 0,0292 | —            | + 1,7         | + 1,8               |
| 47      | + 0,0018 | +            | + 0,1         | + 0,2               |
| 48      | — 0,0005 | —            | 0,0           | + 0,1               |
| 49      | — 0,0010 | —            | + 0,1         | + 0,2               |
| 50      | + 0,0143 | +            | + 0,8         | + 0,9               |
| 51      | — 0,0042 | +            | — 0,3         | — 0,2               |
| 52      | + 0,0160 | +            | — 0,3         | — 0,2               |
| 54      | — 0,0042 | +            | — 0,2         | — 0,1               |
| 55      | + 0,0160 | —            | — 0,9         | — 0,8               |
| 57      | — 0,0290 | +            | — 1,7         | — 1,6               |
| 58      | — 0,0436 | +            | — 2,5         | — 2,4               |
| 59      | + 0,0003 | +            | 0,0           | + 0,1               |
| 60      | + 0,0064 | —            | — 0,4         | — 0,3               |
| 61      | — 0,0405 | —            | + 2,3         | + 2,4               |
| 62      | + 0,0181 | —            | — 1,0         | — 0,9               |

TABLEAU VI  
Distribution des écarts  $\varepsilon + 0,1$

| $\varepsilon + 0,1$ | Nombre<br>de météores | $\varepsilon + 0,1$ | Nombre<br>de météores | $\varepsilon + 0,1$ | Nombre<br>de météores |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| de $-4,5$ à $-4$    | 0                     | de $-1$ à $-0,5$    | 9                     | de $2,5$ à $3$      | 0                     |
| de $-4$ à $-3,5$    | 1                     | de $-0,5$ à $0$     | 9                     | de $3$ à $3,5$      | 0                     |
| de $-3,5$ à $-3$    | 0                     | de $0$ à $0,5$      | 14                    | de $3,5$ à $4$      | 0                     |
| de $-3$ à $-2,5$    | 1                     | de $0,5$ à $1,0$    | 4                     | de $4$ à $4,5$      | 0                     |
| de $-2,5$ à $-2$    | 3                     | de $1$ à $1,5$      | 4                     | de $4,5$ à $5$      | 0                     |
| de $-2$ à $-1,5$    | 2                     | de $1,5$ à $2$      | 3                     | de $5$ à $5,5$      | 1                     |
| de $-1,5$ à $-1$    | 4                     | de $2$ à $2,5$      | 4                     |                     |                       |

On peut essayer de représenter cette dispersion par une loi de Gauss

$$dn = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\lambda^2}{2\sigma^2}} d\lambda$$

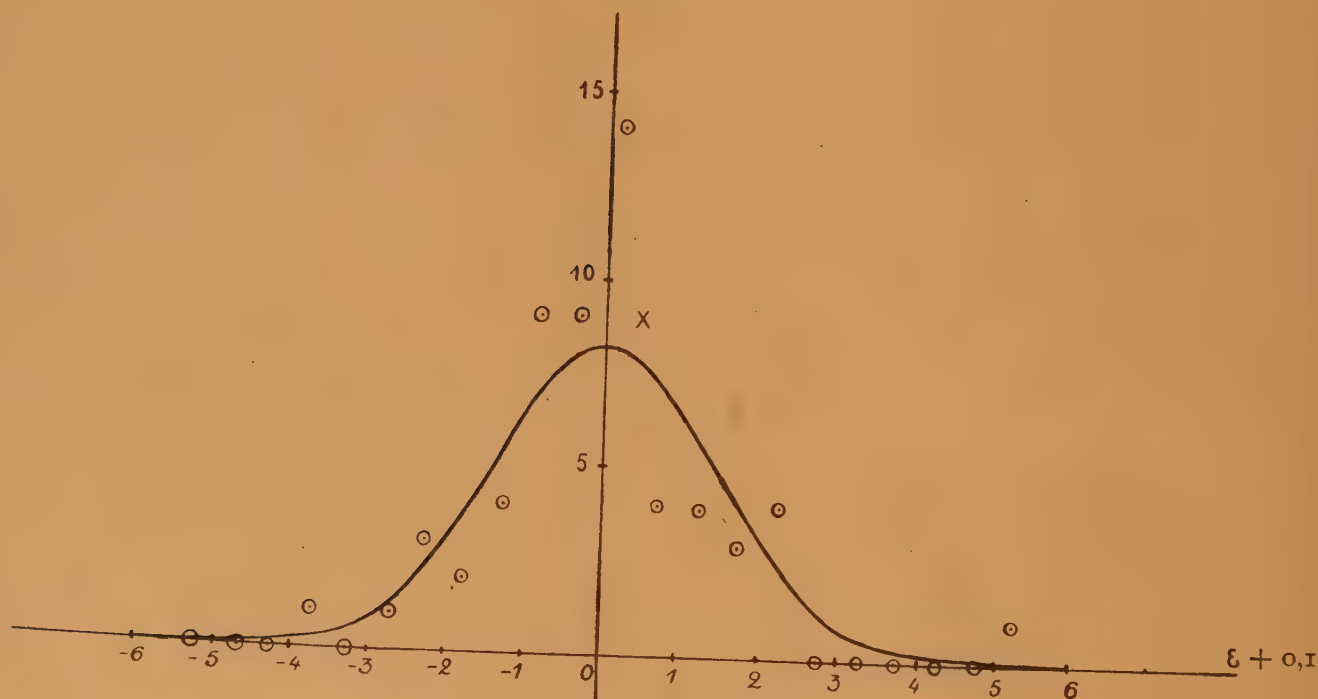


Fig. 17

où  $\lambda$  représente ici la quantité  $\varepsilon + 0,1$ ,  $N$  le nombre total des météores (59) et  $dn$  le nombre des météores dans chacun des intervalles. La dispersion  $\sigma$  est égale à 1,44 et  $d\lambda$  à 0,5. Dans le calcul des nombres  $dn$ , on prendra pour valeur de  $\lambda$  relative à chaque intervalle la valeur de cette quantité au milieu de l'intervalle : exemple 0,25 pour l'intervalle 0 à 0,5,

0,75 pour l'intervalle 0,5 à 1. etc. On obtient ainsi les nombres *dn calculés* du tableau VII. Nous reproduisons également dans ce tableau, sous le nom de nombres « *observés* », les nombres données dans le tableau VI.

TABLEAU VII

|                      |                |                |                |                |                |                |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Intervalles ..       | de — 5,5 à — 5 | de — 5 à — 4,5 | de — 4,5 à — 4 | de — 4 à — 3,5 | de — 3,5 à — 3 | de — 3 à — 2,5 |
| <i>dn</i> calculé... | 0,0            | 0,0            | 0,2            | 0,3            | 0,6            | 1,3            |
| <i>dn</i> observé .. | 0              | 0              | 0              | 1              | 0              | 1              |

|                      |                |                |                |                |              |            |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|------------|
| Intervalles ..       | de — 2,5 à — 2 | de — 2 à — 1,5 | de — 1,5 à — 1 | de — 1 à — 0,5 | de — 0,5 à 0 | de 0 à 0,5 |
| <i>dn</i> calculé... | 2,4            | 3,9            | 5,6            | 7,1            | 8,0          | 8,0        |
| <i>dn</i> observé .. | 3              | 2              | 4              | 9              | 9            | 14         |

|                      |            |            |            |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Intervalles ..       | de 0,5 à 1 | de 1 à 1,5 | de 1,5 à 2 | de 2 à 2,5 | de 2,5 à 3 | de 3 à 3,5 |
| <i>dn</i> calculé... | 7,1        | 5,6        | 3,9        | 2,4        | 1,3        | 0,6        |
| <i>dn</i> observé .. | 4          | 4          | 3          | 4          | 0          | 0          |

|                      |            |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| Intervalles ..       | de 3,5 à 4 | de 4 à 4,5 | de 4,5 à 5 | de 5 à 5,5 |
| <i>dn</i> calculé... | 0,3        | 0,2        | 0,0        | 0,0        |
| <i>dn</i> observé .. | 0          | 0          | 0          | 1          |

Les nombres calculés sont représentés par la courbe de la figure 17 ; les points (○) représentent les nombres observés. Ces derniers paraissent obéir à une loi de répartition nettement différente de la loi de Gauss (représentée par la courbe) et dont le maximum serait beaucoup plus aigu que dans celle-ci. Il ne faut cependant pas se hâter de conclure : les plus grandes discordances entre les nombres calculés et observés se manifestent dans les intervalles 0 à + 0,5 et + 0,5 à + 1. Or ces intervalles sont contigus et la différence (nombre observé — nombre calculé) est positive dans le premier intervalle et négative dans le second. Ces discordances proviennent donc très probablement du passage de quelques météores de l'intervalle 0° 5 à 1° à l'intervalle 0° à 0° 5 par suite de petites erreurs sur  $\epsilon$  (il suffit d'une erreur de 0° 1, c'est-à-dire d'une erreur de l'ordre de grandeur de la précision de nos calculs). Cette conclusion s'impose d'autant plus que si l'on fait la moyenne des nombres observés dans les deux intervalles on obtient 9, et le point correspondant se place sur le graphique à l'endroit marqué d'une croix, c'est-à-dire au voisinage de la courbe.

Nous concluons donc que les écarts  $\epsilon$  suivent approximativement une loi de Gauss de dispersion 1,44. L'écart médian correspondant est :

$$1,44 \times 0,6745 = 0^{\circ},97,$$

c'est-à-dire sensiblement un degré.

Donc, durant toute la période embrassée par les observations utilisées, c'est-à-dire du 20 juillet au 19 août, si l'on considère un grand nombre de Perséides, on en trouvera autant dont les trajectoires prolongées passeront à moins d'un degré du radiant défini par les coordonnées  $\alpha$  et  $\delta$  du tableau IV qu'à une distance plus grande.

## CHAPITRE III

### LES PERSÉIDES DANS L'ESPACE

21. *Etude des orbites correspondant aux radiants de Denning.* — Les résultats des deux précédents chapitres se présentent comme une confirmation des idées de DENNING relatives à la longue durée des Perséides. Nous allons maintenant, dans le but de connaître la structure du courant, déterminer les orbites des météores qui rencontrent la Terre à diverses dates de la période d'activité de l'essaim et étudier la disposition de ces orbites dans l'espace. Aucun moyen ne permettant de connaître les grands axes, certainement différents, de ces diverses orbites, le calcul a été fait successivement dans trois hypothèses :

1<sup>o</sup> les météores se meuvent tous avec la période de 108 ans, généralement admise pour la partie la plus dense du courant venant à l'apparition le 10 Août ;

2<sup>o</sup> les météores décrivent des paraboles ;

3<sup>o</sup> les météores se meuvent avec une période de 54 ans.

Les formules utilisées pour le calcul des orbites ont été déduites en grande partie du chapitre 15 de *Meteors* de Ch. P. OLIVIER (1). Soient, sur une sphère céleste géocentrique de centre T, AHK l'écliptique, A l'apex, R et R' les radiants vrai et apparent d'un météore, soient  $\lambda$  et  $\beta$  les coordonnées écliptiques du radiant apparent,  $l$  et  $b$  celles du radiant vrai  $\odot$  et  $L$  les longitudes géocentriques du Soleil et de l'apex,  $\sigma$  et  $\chi$  les distances angulaires de l'apex au radiant apparent et au radiant vrai. On peut écrire :

$$(1) \quad \begin{cases} \cos (\lambda - L) \cos \beta = \cos \sigma & \cos (l - L) \cos b = \cos \chi \\ \sin \beta = \sin \sigma \sin \gamma & \sin b = \sin \chi \sin \gamma \\ \sin (\lambda - L) \cos \beta = \sin \sigma \cos \gamma & \sin (l - L) \cos b = \sin \chi \cos \gamma, \end{cases}$$

en désignant par  $\gamma$  l'angle KAR compté de 0 à 360°.

Si l'on tient compte de l'excentricité de l'orbite terrestre, on a :

$$(2) \quad L = \odot - 90^\circ + 57',6 \sin (\odot - \omega),$$

avec

$$(3) \quad \omega = 101^\circ 13',2 - 1',028(t - 1900).$$

(1) Baltimore. Williams and Wilkins, 1925.

D'autre part la composition des vitesses de la Terre et du météore donne (fig. 19) :

$$v^2 = V^2 + w^2 - 2Vw \cos \sigma,$$

$$\frac{V}{v} = \frac{\sin(\chi - \sigma)}{\sin \sigma},$$

$v$ ,  $w$ , et  $V$  désignant la vitesse héliocentrique du météore, sa vitesse géocentrique et la vitesse de la Terre.

Mais on a,  $k$  désignant la constante de GAUSS, et  $R$  le rayon vecteur de la Terre :

$$v^2 = k^2 \left( \frac{2}{R} - \frac{1}{a} \right) \quad V^2 = k^2 \left( \frac{2}{R} - 1 \right),$$

d'où

$$(4) \quad \frac{V}{v} = \frac{\sqrt{\frac{2}{R} - 1}}{\sqrt{\frac{2}{R} - \frac{1}{a}}} = \frac{\sin(\chi - \sigma)}{\sin \sigma},$$

où  $a$  est connu, puisque la période est donnée par hypothèse.

Les équations (1), (2), (3), (4) permettent de calculer les coordonnées  $l$  et  $b$  du radiant vrai, connaissant les coordonnées  $\lambda$  et  $\beta$  du radiant apparent. Les équations (6) du paragraphe 2 qui s'écrivent ici :

$$k\sqrt{p} \sin i = Rv \sin b$$

$$k\sqrt{p} \cos i = Rv \cos b \sin(l - \odot),$$

donnent ensuite :

$$(5) \quad \operatorname{tg} i = \frac{\operatorname{tg} b}{\sin(l - \odot)},$$

$$(6) \quad \sqrt{p} = \frac{R \sqrt{\frac{2}{R} - \frac{1}{a}} \cos b \sin(l - \odot)}{\cos i}.$$

$p$  connu, l'équation :

$$p = a(1 - e^2),$$

où  $a$  est connu donne  $e$ .

L'équation de l'orbite

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$$

donne

$$1 + e \cos \theta = \frac{p}{r},$$

ou, en dérivant :

$$e \sin \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{p}{r^2} \frac{dr}{dt}.$$

Mais

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{k\sqrt{p}}{r^2},$$



Fig. 19.

d'où

$$e \sin \theta = \frac{\sqrt{p}}{kr} \cdot r \frac{dr}{dt} = \frac{\sqrt{p}}{kr} \left( x \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt} + z \frac{dz}{dt} \right).$$

$x, y, z$  désignant les coordonnées du météore par rapport à 3 axes issus du soleil et dirigés :  $Sx$  vers le point vernal,  $Sy$  dans l'écliptique et perpendiculaire à  $Sx$ ,  $Sz$  dans la direction directement perpendiculaire aux deux premières. Au point de rencontre avec la Terre on a :

$$\begin{aligned} x &= -R \cos \odot & y &= -R \sin \odot & z &= 0 \\ \frac{dx}{dt} &= -v \cos l \cos b & \frac{dy}{dt} &= -v \sin l \cos b & \frac{dz}{dt} &= -v \sin b, \end{aligned}$$

d'où :

$$(7) \quad e \sin \theta = \frac{\sqrt{p}}{kR} Rv \cos b \cos (l - \odot) = \sqrt{p} \sqrt{\frac{2}{R} - \frac{1}{a}} \cos b \cos (l - \odot).$$

Le météore étant rencontré par la Terre à son nœud descendant, l'argument de latitude  $\omega$  de son périhélie est donné par :

$$(8) \quad \omega = -\theta + 180^\circ,$$

et la longitude de son nœud ascendant par :

$$(9) \quad \Omega = \odot.$$

Les formules ci-dessus s'étendent au cas d'une orbite parabolique. Il suffit de poser  $\frac{1}{a} = 0$ .

Le tableau I donne les éléments calculés dans les 3 hypothèses énoncées plus haut, les dates de rencontre de météores avec la Terre étant : Juillet, 11, 15, 20, 25, 31 Août, 5, 10, 15, 19. Les observations de DENNING ayant été effectuées entre 1869 et 1899, et DENNING n'ayant pas indiqué à quel équinoxe sont rapportées les coordonnées de ses radiants, nous avons effectué tous les calculs en les supposant valables pour 1883,0.

TABLEAU I. — *Orbites correspondant aux radiants de Denning*

| Dates   | $\alpha$ | $\delta$ | $\lambda$ | $\beta$ | Période = 108 ans |       |       |       |          | Paraboles |       |       |       |          | Période = 54 ans |       |       |       |          |       |
|---------|----------|----------|-----------|---------|-------------------|-------|-------|-------|----------|-----------|-------|-------|-------|----------|------------------|-------|-------|-------|----------|-------|
|         |          |          |           |         | $\Omega$          | $i$   | $p$   | $e$   | $\omega$ | $\Omega$  | $i$   | $p$   | $e$   | $\omega$ | $\Omega$         | $i$   | $p$   | $e$   | $\omega$ |       |
| Juillet | 11       | 11°5     | 47°7      | 32°3    | 38°7              | 109°3 | 112°8 | 1,863 | 0,958    | 150°4     | 109°3 | 113°2 | 1,907 | 1,000    | 151°1            | 109°3 | 112,6 | 1,839 | 0,871    | 150°0 |
|         | 15       | 15,6     | 49,4      | 36,6    | 38,8              | 113,1 | 112,5 | 1,857 | 0,958    | 149,6     | 113,1 | 112,9 | 1,899 | 1,000    | 150,3            | 113,1 | 112,3 | 1,831 | 0,872    | 149,1 |
|         | 20       | 20,8     | 51,2      | 41,2    | 38,6              | 117,9 | 113,0 | 1,870 | 0,958    | 151,4     | 117,9 | 113,3 | 1,913 | 1,000    | 152,0            | 117,9 | 112,8 | 1,844 | 0,871    | 150,9 |
|         | 25       | 26,2     | 52,8      | 45,5    | 38,1              | 122,6 | 113,6 | 1,846 | 0,959    | 148,6     | 122,6 | 113,9 | 1,889 | 1,000    | 149,3            | 122,6 | 113,3 | 1,821 | 0,873    | 148,1 |
|         | 31       | 32,2     | 54,4      | 50,8    | 38,2              | 128,4 | 113,9 | 1,873 | 0,958    | 151,9     | 128,4 | 114,2 | 1,916 | 1,000    | 152,6            | 128,4 | 113,7 | 1,846 | 0,871    | 151,5 |
| Août    | 5        | 39,0     | 55,8      | 55,9    | 37,5              | 133,2 | 114,8 | 1,862 | 0,958    | 150,8     | 133,2 | 115,1 | 1,905 | 1,000    | 151,5            | 133,2 | 114,6 | 1,837 | 0,871    | 150,3 |
|         | 10       | 45,0     | 57,0      | 60,7    | 38,0              | 138,0 | 114,2 | 1,863 | 0,958    | 151,2     | 138,0 | 114,6 | 1,916 | 1,000    | 152,9            | 138,0 | 113,8 | 1,839 | 0,871    | 150,8 |
|         | 15       | 51,3     | 58,2      | 65,4    | 37,6              | 142,8 | 115,5 | 1,860 | 0,958    | 151,0     | 142,8 | 115,9 | 1,904 | 1,000    | 151,7            | 142,8 | 115,3 | 1,835 | 0,872    | 150,5 |
|         | 19       | 56,6     | 59,1      | 69,0    | 38,1              | 146,6 | 114,0 | 1,869 | 0,958    | 152,3     | 146,6 | 114,3 | 1,912 | 1,000    | 152,9            | 146,6 | 113,8 | 1,843 | 0,871    | 151,8 |



Période de 108 ans

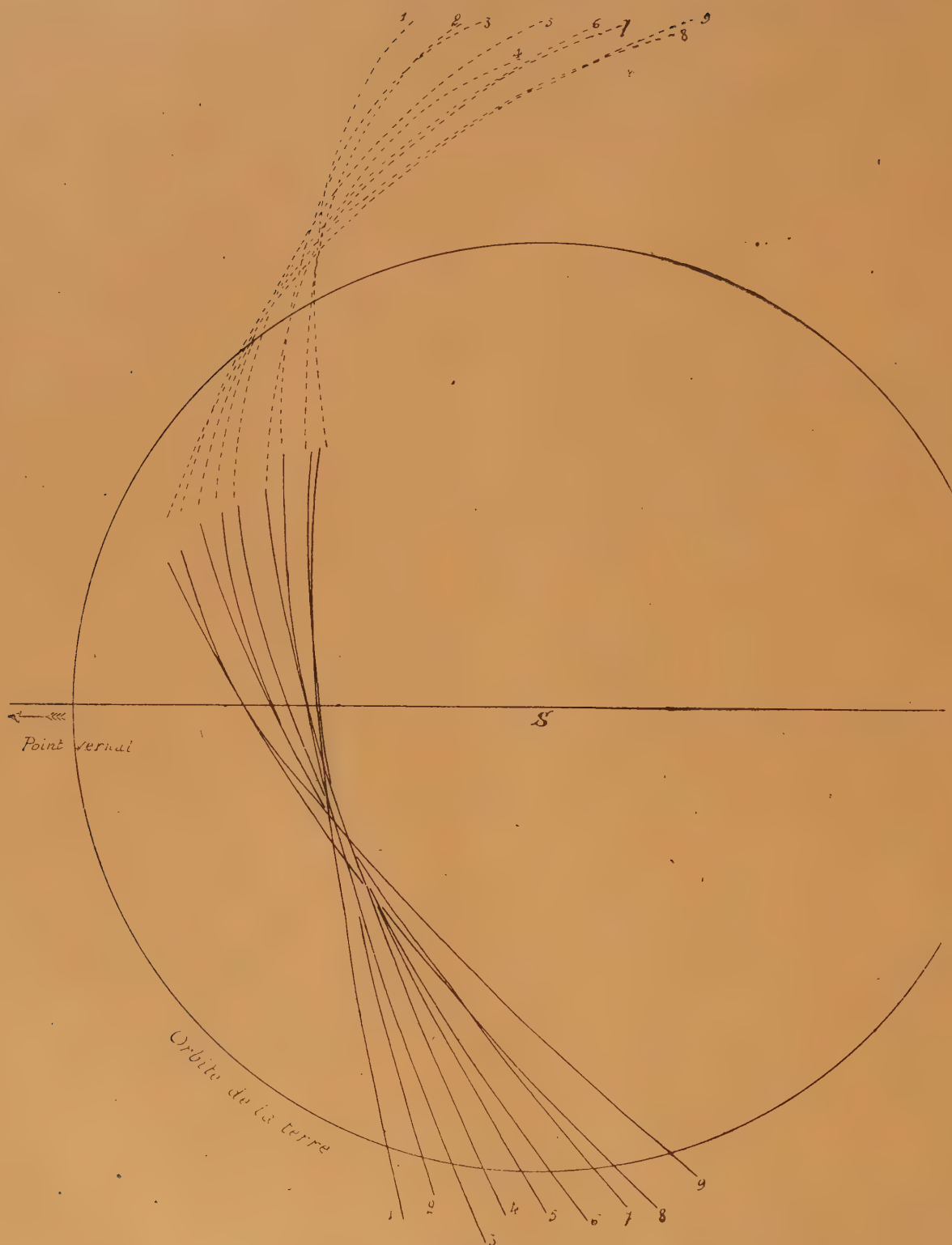


Fig. 21.

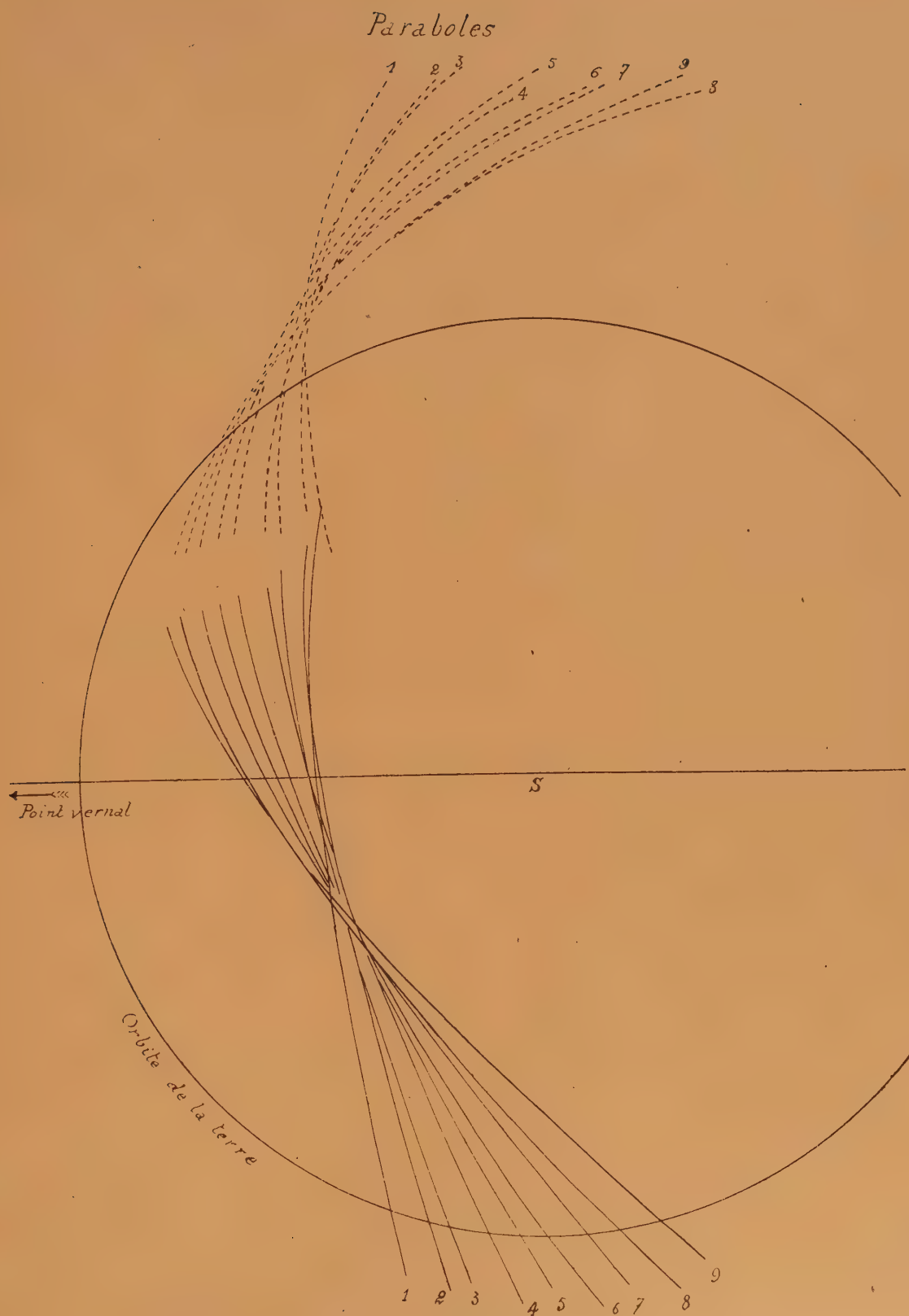


Fig. 22.

*Période de 54 ans*

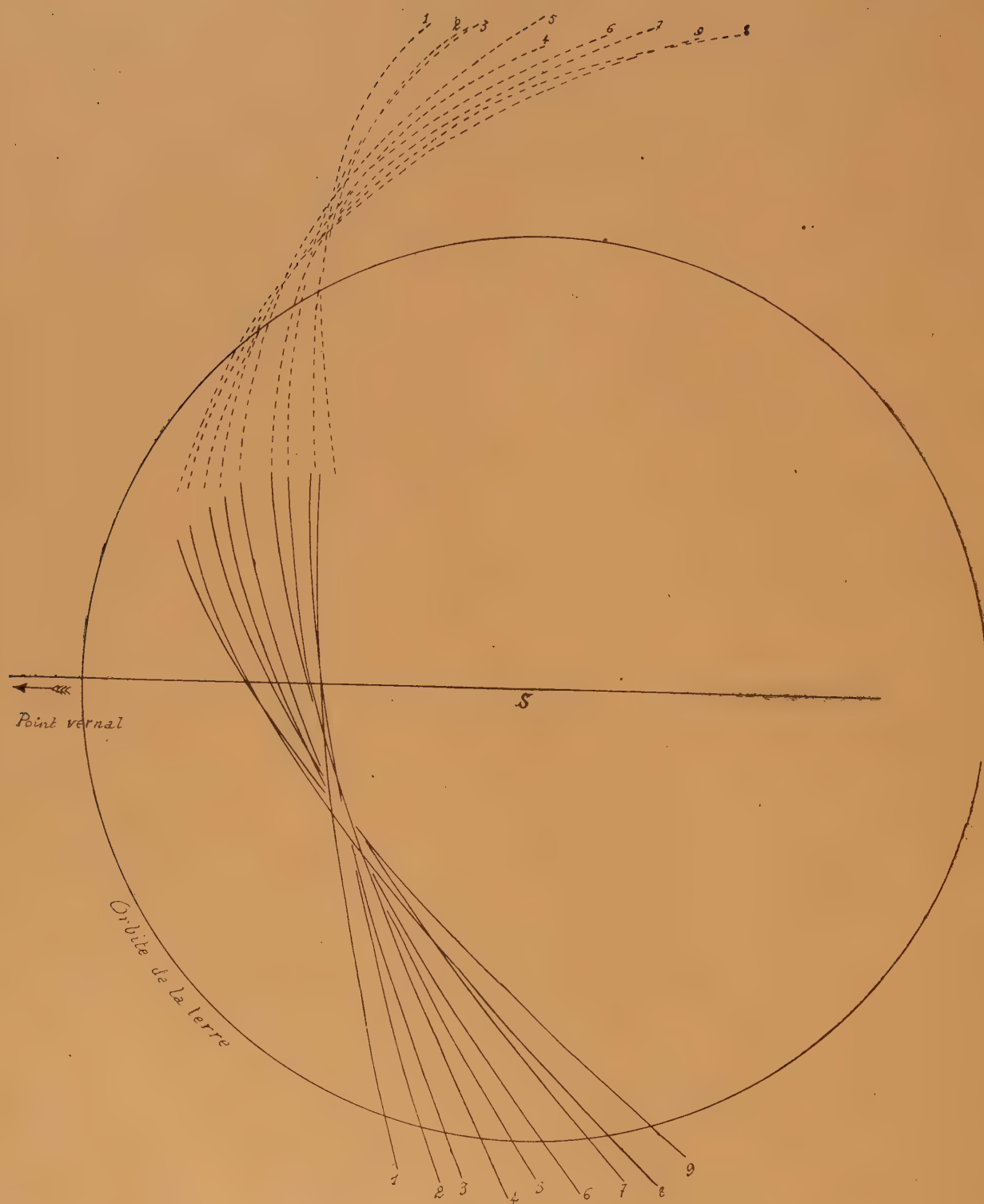


Fig. 23.

nouvelles trajectoires continueraient à s'y croiser. Tel serait le cas, par exemple, si les météores qui constituent le courant avaient été chassés de la comète par ces éjections nucléaires que BREDICHINE <sup>(1)</sup> invoquait pour expliquer la dissociation des comètes en étoiles filantes ou, plus probablement si la comète s'était dissociée en partie, à la suite d'une rencontre en ce point avec une autre comète ou avec une météorite suivant les idées d'ORLOV <sup>(2)</sup>.

Mais une question se pose : si les météores avaient été dispersés au point P, ne pourraient-ils pas également avoir d'autres radiants que les radiants observés ? Cherchons donc toutes les valeurs possibles des coordonnées  $\lambda$  et  $\beta$  du radiant apparent d'un météore qui, issu de P, viendrait rencontrer la Terre en un des points de son orbite qu'elle occupe entre le 11 Juillet et le 19 Août. Nous supposons l'orbite terrestre circulaire et choisirons une unité de temps telle que la vitesse de la Terre sur cette orbite soit égale à l'unité.

Soient  $\Omega$   $i$   $a$  ... les éléments de l'orbite de la comète 1862 III et  $\Omega_1$ ,  $i_1$ ,  $a_1$   $e_1$ ... ceux de l'orbite du météore considéré, soient  $v_1'$  et  $w_1$  la vitesse héliocentrique et la vitesse géocentrique de cette particule à son point de rencontre N' avec la Terre (fig. 25). Le théorème des aires nous donne comme au paragraphe 2 :

$$(I2) \quad \begin{cases} \sqrt{p_1} \sin i_1 = w_1 \sin \beta \\ \sqrt{p_1} \cos i_1 = w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot) + 1, \end{cases}$$

ou

$$(I3) \quad \cotg i_1 = \frac{1 + w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot)}{w_1 \sin \beta}.$$

c'est-à-dire :

$$(I4) \quad w_1 = \frac{1}{\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot)}.$$

En élevant au carré les expressions (I2) il vient :

$$p_1 = w_1^2 \sin^2 \beta + w_1^2 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) + 1 + 2w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot),$$

ou

$$p_1 = w_1^2 [\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot)] + 2w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot) + 1,$$

et, en remplaçant  $w_1$  par son expression (I4)

$$p_1 = \frac{1}{[\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot)]^2} \left\{ \sin^2 \beta + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) + 2 \cos \beta \sin (\lambda - \odot) \sin \beta \cotg i_1 + 2 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) \right. \\ \left. + \sin^2 \beta \cotg^2 i_1 + \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) - 2 \sin \beta \cos \beta \sin (\lambda - \odot) \cotg i_1 \right\}$$

ou

$$p_1 = \frac{\sin^2 \beta + \sin^2 \beta \cotg^2 i_1}{[\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot)]^2} = \frac{\sin^2 \beta}{[\sin \beta \cos i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot) \sin i_1]^2},$$

ou

$$(I5) \quad p_1 = \frac{1}{[\cos i_1 - \cotg \beta \sin i_1 \sin (\lambda - \odot)]^2}.$$

Mais  $p_1$  peut s'exprimer d'une manière différente. Désignons par  $\theta_1$ , et  $\theta_1'$  les anomalies vraies en P et N' sur l'orbite de la particule et soit  $\chi_1'$  l'angle en N' entre le rayon vecteur prolongé du côté opposé au soleil et la tangente. Nous pouvons écrire :

$$(I6) \quad r = \frac{p_1}{1 + e_1 \cos \theta_1},$$

$$(I7) \quad 1 = \frac{p_1}{1 + e_1 \cos \theta_1'},$$

<sup>(1)</sup> TH. BREDICHINE. — Sur l'origine des étoiles filantes. *Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou*, 1889.

<sup>(2)</sup> ORLOV. — Evolution and origin of comets. *Astronomical Journal of the Soviet Union*, vol. XVI, n° 1, 1939.

$$(18) \quad \cotg \chi_1' = \frac{e_1 \sin \theta_1'}{1 + e_1 \cos \theta_1'} \quad (1).$$

Posons  $\theta_1' - \theta_1 = \alpha$  ou  $\theta_1 = \theta_1' - \alpha$ , les équations (16) et (17) donnent :

$$r = \frac{p_1}{1 + e_1 \cos \theta_1' \cos \alpha + e_1 \sin \theta_1' \sin \alpha},$$

ou

$$r = \frac{1 + e_1 \cos \theta_1'}{1 + e_1 \cos \theta_1' \cos \alpha + e_1 \sin \theta_1' \sin \alpha},$$

équation qui, avec l'équation (18), donne le système :

$$(r \cos \alpha - 1)e_1 \cos \theta_1' + r \sin \alpha e_1 \sin \theta_1' = 1 - r$$

$$\cotg \chi_1' e_1 \cos \theta_1' - e_1 \sin \theta_1' = -\cotg \chi_1',$$

d'où l'on tire, en éliminant  $e_1 \sin \theta_1'$  :

$$(19) \quad e_1 \cos \theta_1' = \frac{1 - r - r \sin \alpha \cotg \chi_1'}{r \cos \alpha - 1 + r \sin \alpha \cotg \chi_1'},$$

et, d'après l'équation (17)

$$(20) \quad p_1 = 1 + \frac{1 - r - r \sin \alpha \cotg \chi_1'}{r \cos \alpha - 1 + r \sin \alpha \cotg \chi_1'} = \frac{r(\cos \alpha - 1)}{r \cos \alpha - 1 + r \sin \alpha \cotg \chi_1'}.$$

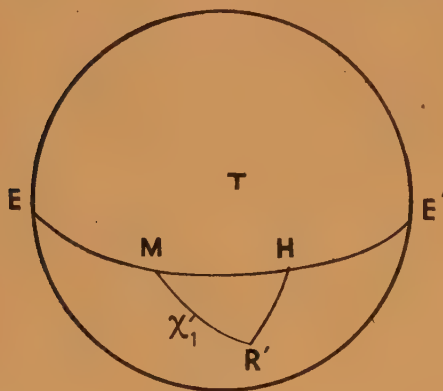


Fig. 24.

Exprimons  $\chi_1'$  en fonction des coordonnées  $l$  et  $b$  du radiant vrai de la particule lors de sa rencontre avec la Terre au point  $N'$ . Soient (fig. 24), sur une sphère céleste géocentrique,  $M$  le point où la sphère est percée par la direction Soleil-Terre au moment de la rencontre, et  $R'$  le point opposé au radiant vrai.  $R'$  est donc le point où la sphère céleste est percée par la direction de la vitesse héliocentrique du météore. L'angle  $MTR'$  n'est autre que l'angle  $\chi_1'$ , tandis que le plan  $TMR'$  est le plan de l'orbite de la particule, et que, par suite l'angle  $EMR'$  est l'inclinaison  $i_1$  de cette orbite. Menons l'arc  $R'H$ , perpendiculaire à l'écliptique  $EE'$ ; le triangle sphérique rectangle  $MRH$  donne :

$$(21) \quad \begin{cases} \cos \chi_1' = \cos b \cos (l - \odot) \\ \sin \chi_1' = \frac{\sin |b|}{\sin i_1} = \frac{\sin b}{\sin i_1} \end{cases}$$

puisque les coordonnées de  $R'$  sont  $180^\circ + l$  et  $-b$  (avec  $b > 0$  puisque la particule rencontre la Terre à son nœud descendant) et celles de  $M$  :  $180^\circ + \odot$  et  $0$ .

Mais le théorème de la composition des vitesses donne :

$$(22) \quad \begin{cases} w_1 \cos \lambda \cos \beta - \sin \odot = v_1' \cos l \cos b \\ w_1 \sin \lambda \cos \beta + \cos \odot = v_1' \sin l \cos b \\ w_1 \sin \beta = v_1' \sin b, \end{cases}$$

ce qui donne :

$$(23) \quad \cos b \cos (l - \odot) = \frac{w_1}{v_1'} \cos \beta \cos (\lambda - \odot)$$

(1) Cette équation n'est autre que la formule classique donnant la direction de la tangente à une courbe définie en coordonnées polaires.

$$\cotg \varphi = \frac{1}{r} \frac{dr}{d\theta},$$

cette formule étant appliquée à la courbe  $r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$ .

Des équations (21) (22) (23), on tire :

$$(24) \quad \cotg \chi_1' = \sin i_1 \frac{\cos b \cos (\lambda - \odot)}{\sin b} = \sin i_1 \frac{\frac{w_1}{v_1'} \cos \beta \cos (\lambda - \odot)}{\frac{w_1}{v_1'} \sin \beta} = \sin i_1 \cotg \beta \cos (\lambda - \odot),$$

valeur qui, portée dans l'équation (20) permet d'écrire :

$$(25) \quad p_1 = \frac{r (\cos \alpha - 1)}{r \cos \alpha - 1 + r \sin \alpha \sin i_1 \cotg \beta \cos (\lambda - \odot)}.$$

Par suite, les coordonnées des radiants des particules déviées en P de leur orbite originelle doivent satisfaire à la condition :

$$(26) \quad \frac{1}{[\cos i_1 - \cotg \beta \sin i_1 \sin (\lambda - \odot)]^2} = \frac{r (\cos \alpha - 1)}{r \cos \alpha - 1 + r \sin \alpha \sin i_1 \cotg \beta \cos (\lambda - \odot)}$$

ou

$$[\cos i_1 - \sin i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot)]^2 = \frac{r \cos \alpha - 1}{r (\cos \alpha - 1)} + \frac{\sin \alpha \sin i_1}{\cos \alpha - 1} \cotg \beta \cos (\lambda - \odot).$$

Posons :

$$(27) \quad \frac{r \cos \alpha - 1}{r (\cos \alpha - 1)} = A$$

$$(28) \quad \frac{\sin \alpha \sin i_1}{\cos \alpha - 1} = B.$$

L'équation précédente devient :

$$A + B \cotg \beta \cos (\lambda - \odot) = \cos^2 i_1 + \sin^2 i_1 \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) - 2 \sin i_1 \cos i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot)$$

ou

$$B \cotg \beta \cos (\lambda - \odot) = \sin^2 i_1 \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) - 2 \sin i_1 \cos i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) + \cos^2 i_1 - A,$$

d'où

$$\begin{aligned} B^2 \cotg^2 \beta \cos^2 (\lambda - \odot) &= \sin^4 i_1 \cotg^4 \beta \sin^4 (\lambda - \odot) + 4 \sin^2 i_1 \cos^2 i_1 \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) + (\cos^2 i_1 - A)^2 \\ &\quad - 4 \sin^3 i_1 \cos i_1 \cotg^3 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) + 2 (\cos^2 i_1 - A) \sin^2 i_1 \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) \\ &\quad - 4 (\cos^2 i_1 - A) \sin i_1 \cos i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) \end{aligned}$$

ou, en posant

$$(29) \quad \begin{aligned} \cos^2 i_1 - A &= D \\ \sin^4 i_1 \cotg^4 \beta \sin^4 (\lambda - \odot) - 4 \sin^3 i_1 \cos i_1 \cotg^3 \beta \sin^3 (\lambda - \odot) + [4 \sin^2 i_1 \cos^2 i_1 + 2D \sin^2 i_1 + B^2] \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) \\ &\quad - 4D \sin i_1 \cos i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) - B^2 \cotg^2 \beta + D^2 = 0. \end{aligned}$$

Posons encore :

$$(30) \quad \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) = x$$

et :

$$(31) \quad \left\{ \begin{aligned} -4 \cotg i_1 &= M \\ 4 \cotg^2 i_1 + \frac{2D}{\sin^2 i_1} + \frac{B^2}{\sin^4 i_1} &= N \\ -\frac{4D \cos i_1}{\sin^3 i_1} &= P \\ -\frac{B^2}{\sin^4 i_1} &= Q \\ \frac{D^2}{\sin^4 i_1} &= S \end{aligned} \right.$$

il vient :

$$(32) \quad x^4 + Mx^3 + Nx^2 + Px + Q \cotg^2 \beta + S = 0.$$

Les angles  $\alpha$  et  $i$  sont connus quand le point de rencontre de la particule avec la Terre est donné. En effet, soit  $P'$  (fig. 25) le point où la sphère céleste dont le centre est au Soleil et le rayon 1 est coupée par la droite  $SP$ , et soient  $N$  et  $N'$  les nœuds descendants de la comète et de la particule, soit enfin  $H$  le pied du grand cercle perpendiculaire à l'écliptique mené par  $P'$ ; le triangle sphérique rectangle  $P'N'H$  donne :

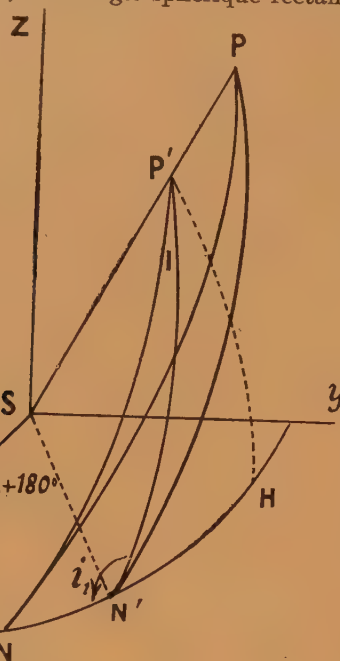


Fig. 25.

$$A = 0,8336$$

$$B = -0,8487$$

$$D = -0,6628$$

$$M = 1,8160$$

$$N = 0,2736$$

$$P = -1,4516$$

$$Q = -1,0482$$

$$S = 0,6393$$

et l'équation (32) s'écrit :

$$(35) \quad x^4 + 1,8160x^3 + 0,2736x^2 - 1,4516x - 1,0482 \cotg^2 \beta + 0,6393 = 0.$$

L'équation (35) peut se décomposer. Posons :

$$(36) \quad y = x^4 + 1,8160x^3 + 0,2736x^2$$

$$(37) \quad Y = 1,4516x + 1,0482 \cotg^2 \beta - 0,6393.$$

La solution de l'équation (35) sera donnée pour toute valeur de  $\beta$  par l'intersection de la courbe 36 et de la droite 37.

La variation de  $y$  est donnée dans le tableau suivant :

|      |  |         |         |         |                      |   |     |   |
|------|--|---------|---------|---------|----------------------|---|-----|---|
| $x$  |  | -1,6502 | -1,2527 | -0,1658 | -0,1092              | 0 |     |   |
| $y'$ |  | -       | -       | +       | +                    | 0 | -   |   |
| $y$  |  | ↘       | 0       | ↘       | min<br>$y = -0,6781$ | ↗ | 0   | ↗ |
|      |  |         |         |         | Max<br>$y = 0,0010$  | ↘ | 0   | ↘ |
|      |  |         |         |         |                      |   | min | ↗ |

La courbe représentative de  $y$  est la courbe C de la figure 26.

Sur cette figure, la droite  $\Delta$  est la droite représentée par l'équation (37). Le coefficient angulaire de cette droite est constant ; seule son ordonnée à l'origine varie avec  $\beta$ . En déplaçant parallèlement à elle-même la droite  $\Delta$ , on voit

$$(33) \quad \cos \alpha = \cos b' \cos (l' - \Omega_1 - 180^\circ) = -\cos b' \cos (l' - \Omega_1)$$

$$(34) \quad \sin i_1 = \frac{\sin b'}{\sin \alpha} \quad \cos i_1 = \frac{\tg (l' - \Omega_1)}{\tg \alpha},$$

$l'$  et  $b'$  étant les coordonnées écliptiques du point  $P'$  et  $\Omega_1$  désignant la longitude du Soleil au moment de la rencontre. On a (paragraphe 22)

$$l' = 28^\circ 57' \quad b' = 65^\circ 15' 5''.$$

$\alpha$  et  $i_1$  connus, les quantités  $A, B, D, M, N, P, Q, S$  sont également connues. Si, alors, on se donne arbitrairement  $\beta$ , la valeur correspondante de  $\lambda - \odot$  se calcule par l'intermédiaire des équations (32) et (30). Nous allons discuter l'équation (32) comme nous l'avons fait aux paragraphes 3 et 4 pour l'équation de CALLANDREAU, afin de déterminer dans quel intervalle peut varier  $\beta$  et quelles sont les valeurs correspondantes de  $\lambda - \odot$ .

Considérons le cas extrême du 11 Juillet. On a alors :

$$\Omega_1 = 109^\circ 18' \quad l' - \Omega_1 = -80^\circ 21' \quad \alpha = 94^\circ 1' \quad i_1 = 114^\circ 25'.$$

On en déduit :

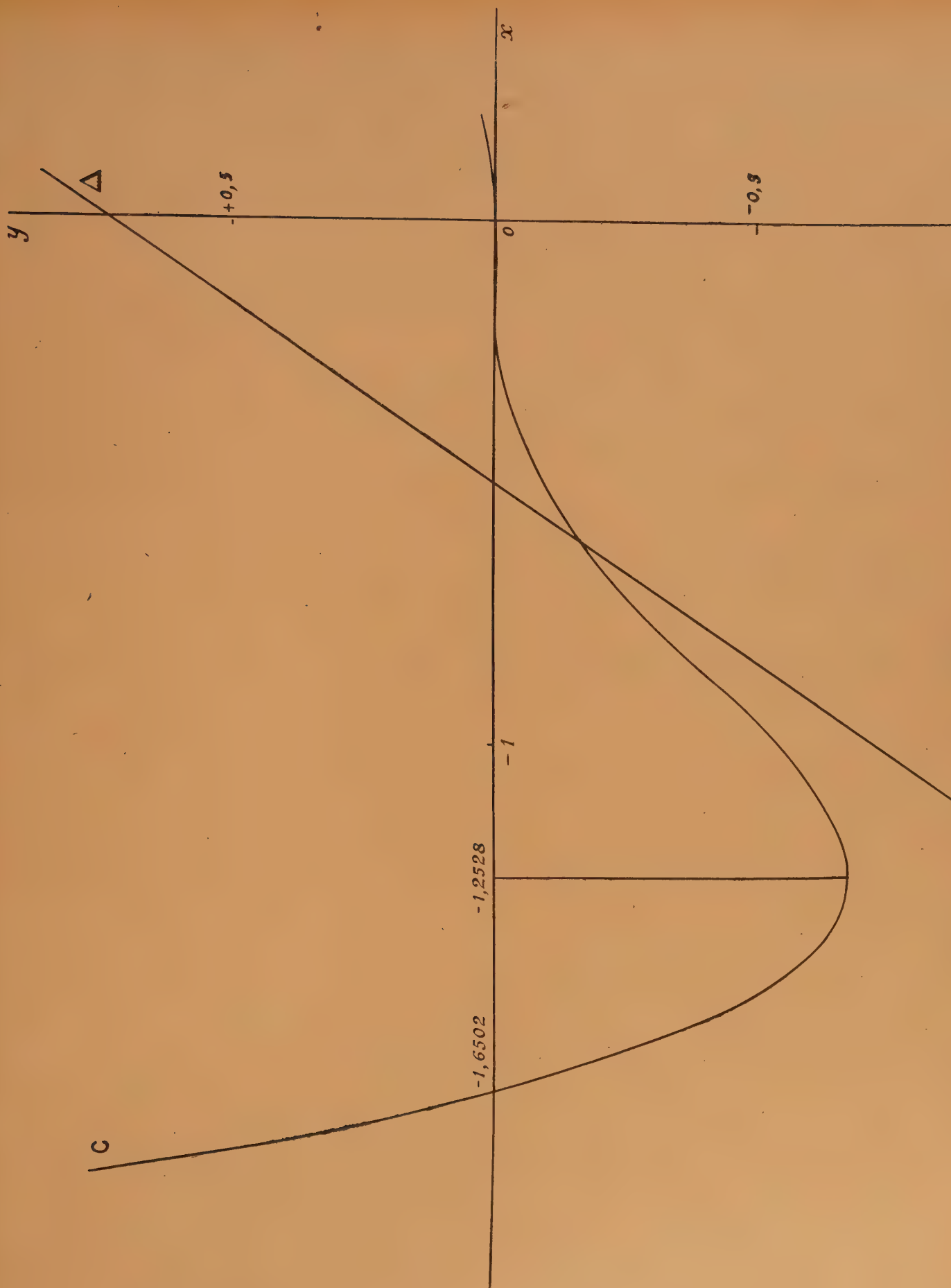


Fig. 26.

que cette droite ne peut couper la courbe C qu'en un seul point entre les abscisses  $-1,6502$  et  $0$ : L'équation (35) ne peut donc avoir, quel que soit  $\beta$  que deux solutions dont une au moins est toujours positive.

Mais d'autres conditions doivent être remplies :

1°  $\beta$  doit toujours être positif, sinon la solution trouvée satisfairait l'équation  $\sqrt{p_1} \sin i_1 = -w_1 \sin \beta$ , au lieu de satisfaire l'équation  $\sqrt{p_1} \sin i_1 = w_1 \sin \beta$ .

2°  $w_1$ , la vitesse géocentrique étant une quantité essentiellement positive, on doit avoir d'après (14)

$$\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot) > 0$$

ou

$$\cotg i_1 - \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) > 0,$$

c'est-à-dire :

$$x < \cotg i_1$$

ou

$$x < -0,4540.$$

3°  $i_1$  étant supérieur à  $90^\circ$  (nous avons trouvé plus haut  $i_1 = 114^\circ 25'$ ), on doit avoir d'après la deuxième équation (12) :

$$1 + w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot) < 0$$

ou, en remplaçant  $w_1$  par sa valeur (14) :

$$1 + \frac{\cos \beta \sin (\lambda - \odot)}{\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot)} < 0,$$

et, en se bornant au cas de  $x < -0,4540$ ,

$$\begin{aligned} \sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot) + \cos \beta \sin (\lambda - \odot) &< 0 \\ \sin \beta \cotg i_1 &< 0, \end{aligned}$$

ce qui est toujours vérifié puisque  $i_1$  dépasse  $90^\circ$ .

4°  $p_1$  devant être positif on doit avoir, d'après l'équation (25) :

$$r \cos \alpha - 1 + r \sin \alpha \sin i_1 \cotg \beta \cos (\lambda - \odot) < 0$$

ou

$$\cotg \beta \cos (\lambda - \odot) < \frac{1 - r \cos \alpha}{r \sin \alpha \sin i_1}$$

ou

$$\cotg \beta \cos (\lambda - \odot) < 0,9819.$$

5° Les valeurs trouvées de  $\beta$ ,  $x$ ,  $\lambda - \odot$ , doivent satisfaire l'équation :

$$+ B \cotg \beta \cos (\lambda - \odot) = \sin^2 i_1 \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) - 2 \sin i_1 \cos i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) + \cos^2 i_1 - A,$$

et non pas l'équation :

$$- B \cotg \beta \cos (\lambda - \odot) = \sin^2 i_1 \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) - 2 \sin i_1 \cos i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) + \cos^2 i_1 - A.$$

En remplaçant  $i_1$  par sa valeur, on trouve que l'on doit avoir :

$$-0,8487 \cotg \beta \cos (\lambda - \odot) = 0,8290x^2 + 2,03763x - 0,6628 = 0.$$

Le second membre de cette équation a deux racines dont une négative  $x = -1,4567$ . Si l'on se limite aux valeurs de  $x$  inférieures à  $-0,4540$ , ce second membre est positif pour  $x < -1,4567$  et négatif pour  $x > -1,4567$ . Par suite  $\lambda - \odot$  doit être choisi de telle manière que  $\cos (\lambda - \odot)$  soit négatif pour  $x < -1,4567$  et positif pour  $x > -1,4567$ .

6°  $\sin^2 (\lambda - \odot)$  doit être inférieur à 1.

23. En tenant compte des diverses conditions ci-dessus, nous pouvons maintenant calculer, pour différentes valeurs de  $x$  inférieures à  $-0,4540$ , les valeurs correspondantes de  $\beta$  déduites de l'équation (35) et de  $\lambda - \odot$  déduites

de l'équation (30). Les équations (15) et (25) donnent  $p_1$  et l'équation (14)  $w$ , pour chacune des valeurs de  $x$ . D'autre part, en élevant au carré les deux membres de chacune des équations (22) et en ajoutant on obtient :

$$v_1'^2 = 1 + w_1^2 + 2w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot)$$

et en remarquant que l'on a :

$$v_1'^2 = 2 - \frac{1}{a_1}$$

(38)

$$\frac{1}{a_1} = 1 - w_1^2 - 2w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot).$$

Pour plus de clarté, réunissons ci-dessous l'ensemble des formules nécessaires :

$$\begin{aligned} y &= x^4 + 1,8160x^3 + 0,2736x^2 \\ 1,0482 \cotg^2 \beta &= y - 1,4516x - 0,6393 \quad \beta > 0 \\ \sin (\lambda - \odot) &= \frac{x}{\cotg \beta} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \cotg \beta \cos (\lambda - \odot) < 0,9819 \\ \cos (\lambda - \odot) < 0 & \text{pour } x < -1,4547 \\ \cos (\lambda - \odot) > 0 & \text{pour } x > -1,4547 \end{cases} \\ w_1 &= \frac{1}{\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot)} \\ \frac{1}{a_1} &= 1 + w_1^2 - 2w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot) \end{aligned}$$

$$\text{Vérification: } p = \frac{1}{[\cos i_1 - \sin i_1 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot)]^2} = \frac{r (\cos \alpha - 1)}{r \cos \alpha - 1 + r \sin \alpha \sin i_1 \cotg \beta \cos (\lambda - \odot)}.$$

Les valeurs trouvées de  $\beta$ ,  $\lambda - \odot$ ,  $p_1$ ,  $w_1$ ,  $a_1$  pour diverses valeurs de  $x$  inférieures à  $-0,4540$  sont données dans le tableau suivant :

TABLEAU II

| $x$     | $\beta$  | $\lambda - \odot$ | $w_1$  | $p_1$ | $a_1$    | $T_1$ (années) | $v_s$ |
|---------|----------|-------------------|--------|-------|----------|----------------|-------|
| -1,6    | 31°34'   | -100°36',5        | 1,666  | 0,918 | 0,987    | 0,981          | 0,865 |
| -1,5    | 33°39'   | -93°08',5         | 1,725  | 1,102 | 1,120    | 1,186          | 0,711 |
| -1,4    | 35°27',5 | -85°42',5         | 1,822  | 1,348 | 1,562    | 1,952          | 0,563 |
| -1,3    | 36°56'   | -77°44',5         | 1,967  | 1,685 | 4,895    | 10,829         | 0,483 |
| -1,2663 | 37°21'   | -75°5'            | 2,0292 |       | $\infty$ | $\infty$       | 0,504 |
| -1,2    | 38°3'    | -69°56'           | 2,174  | 2,167 | hyp.     | hyp.           | 0,587 |
| -1,1    | 38°52'   | -62°55',5         | 2,463  | 2,889 | hyp.     | hyp.           |       |
| -1,0    | 39°26',5 | -55°21',5         | 2,883  | 4,045 | hyp.     | hyp.           |       |

La valeur  $x = -1,2663$ , correspondant à une trajectoire parabolique a été déduite de l'équation (38) qui donne dans ce cas :

$$1 - w_1^2 - 2w_1 \cos \beta \sin (\lambda - \odot) = 0,$$

ou

$$1 - \frac{1}{[\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot)]^2} - \frac{2 \cos \beta \sin (\lambda - \odot)}{\sin \beta \cotg i_1 - \cos \beta \sin (\lambda - \odot)} = 0,$$

ou

$$\begin{aligned} \sin^2 \beta \cotg^2 i_1 - 4 \sin \beta \cos \beta \sin (\lambda - \odot) \cotg i_1 + 3 \cos^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) - 1 &= 0 \\ \cotg^2 i_1 - 4 \cotg \beta \sin (\lambda - \odot) \cotg i_1 + 3 \cotg^2 \beta \sin^2 (\lambda - \odot) - \frac{1}{\sin^2 \beta} &= 0, \end{aligned}$$

ou, en posant encore  $\cotg \beta \sin (\lambda - \odot) = x$ ,

$$3x^2 - 4x \cotg i_1 + \cotg^2 i_1 - \frac{1}{\sin^2 \beta} = 0,$$

ou, puisque  $\frac{1}{\sin^2 \beta} = 1 + \cotg^2 \beta$  :

$$3x^2 - 4x \cotg i_1 + \cotg^2 i_1 - 1 - \cotg^2 \beta = 0,$$

ou, en éliminant  $\beta$  entre cette équation et l'équation (32),

$$x^4 + Mx^3 + (N + 3Q)x^2 + (P - 4Q \cotg i_1)x + S + Q \cotg^2 i_1 - Q = 0$$

ce qui donne, dans le cas du 11 Juillet considéré ici :

$$(39) \quad x^4 + 1,8160x^3 - 2,8710x^2 - 3,3551x + 1,4715 = 0,$$

d'où l'on déduit, à l'aide des équations (35) et (30) :

$$(40) \quad \lambda - \odot = -75^{\circ}5' \quad \beta = +37^{\circ}21'.$$

TABLEAU III

| $x$        | $\beta$  | $\lambda - \odot$ | $a_1$    | T<br>années | $v_s$  |
|------------|----------|-------------------|----------|-------------|--------|
| 21 Juillet |          |                   |          |             |        |
| — 1,6      | 31°38'   | — 99°40'          | 0,9920   | 0,988       | 0,7770 |
| — 1,5      | 33°39',5 | — 92°55',5        | 1,1469   | 1,228       | 0,6037 |
| — 1,4      | 35°28'   | — 85°42',5        | 1,6302   | 2,081       | 0,4361 |
| — 1,3      | 37°0,5   | — 78°28'          | 5,5885   | 13,211      | 0,3367 |
| — 1,2697   | 37°25'   | — 76°14',5        | $\infty$ | $\infty$    | 0,3326 |
| — 1,2      | 38°16'   | — 71°9',5         | — 1,9606 | hyp         | 0,4306 |
| 31 Juillet |          |                   |          |             |        |
| — 1,6      | 31°36'   | — 100°10'         | 0,9833   | 0,975       | 0,7380 |
| — 1,5      | 38°38'   | — 93°48'          | 1,1276   | 1,197       | 0,5574 |
| — 1,4      | 35°30',5 | — 87°11',5        | 1,5509   | 1,931       | 0,3629 |
| — 1,3      | 37°10',5 | — 80°20'          | 4,1169   | 8,353       | 0,1855 |
| — 1,2566   | 37°49',5 | — 77°20',5        | $\infty$ | $\infty$    | 0,1738 |
| — 1,2      | 38°37'   | — 73°25'          | — 0,4011 | hyp         | 0,2689 |
| 19 Août    |          |                   |          |             |        |
| — 1,5      | 33°25'   | — 98°5'           | 1,018    | 1,027       |        |
| — 1,4      | 35°51'   | — 92°20',5        | 1,234    | 1,370       | 0,4705 |
| — 1,3      | 37°30',5 | — 86°12',5        | 1,909    | 2,639       | 0,2943 |
| — 1,23     | 38°49',5 | — 81°48'          | 4,425    | 9,307       | 0,1825 |
| — 1,2      | 39°22'   | — 79°53'          | 15,142   | 58,293      | 0,1640 |
| — 1,1887   | 39°34'   | — 79°9',5         | $\infty$ | $\infty$    | 0,1652 |
| + 1,18     | 39°43',5 | — 78°39',5        | — 19,029 | hyp         |        |

Ces nombres s'écartent très peu des valeurs  $\lambda - \odot = -77^\circ$  et  $\beta = +38^\circ$ , que l'on déduit de l'éphéméride de DENNING. En outre, le tableau II montre que si le radiant s'écarte, même légèrement, de la position (40), les orbites correspondantes sont des hyperboles ou des ellipses à courtes périodes : la position  $\lambda - \odot = -77^\circ 44' 5''$   $\beta = 36^\circ 56'$  donne déjà une période de 10 ans.

Les mêmes calculs effectués pour les dates du 21 Juillet, du 31 Juillet et du 19 Août, nous ont donné les résultats ci-dessus :

Le résultat trouvé pour le 11 Juillet se généralise : les orbites paraboliques ou à longues périodes correspondent toujours à des valeurs de  $\beta$  et de  $\lambda - \odot$  voisines de  $38^\circ$  et de  $-77^\circ$  et, dès que le radiant s'écarte légèrement de la position « parabolique », l'orbite correspondante est une hyperbole ou une ellipse à courte période.

Ce fait permet d'expliquer pourquoi  $\beta$  et  $\lambda - \odot$  restent toujours voisins de  $38^\circ$  et de  $-77^\circ$ , pourvu qu'on admette que la dissociation de la comète au point P remonte à une époque suffisamment reculée. Dans le cas d'une dispersion très ancienne, alors que les particules lancées sur des trajectoires hyperboliques se sont aussitôt éloignées indéfiniment, et sont hors de question, les particules à courtes périodes ont pu revenir un grand nombre de fois au voisinage de la Terre et tomber sur celle-ci ; elles se sont ainsi épuisées. En outre, ces particules reviennent fréquemment au point de dissociation P où la densité des météores est particulièrement grande ; elles peuvent y rencontrer d'autres particules et être jetées par ces chocs sur des trajectoires qui ne rencontrent plus l'orbite terrestre. Seules, les particules à longues périodes qui passent beaucoup moins fréquemment au voisinage de la Terre et au point P ont pu conserver leurs orbites jusqu'à nos jours. Or ce sont les seules qui donnent des radiants tels que :

$$\lambda - \odot \neq -77^\circ \quad \beta \neq 38^\circ.$$

24. On peut encore chercher la valeur  $v_s$  du vecteur vitesse supplémentaire  $\vec{v}_s$  (que nous appellerons « impulsion ») qu'il faut communiquer, lors de son passage en P, à une particule qui se meut sur l'orbite de la comète 1862 III pour la faire mouvoir sur une orbite telle qu'elle rencontre l'orbite terrestre en un point donné avec, dans le cas d'une rencontre effective avec la Terre, un radiant donné.

Soient  $v$  la vitesse en P sur l'orbite de la comète et  $v_1$  la vitesse en P sur l'orbite de la particule ; nous avons les deux équations :

$$(41) \quad v^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{a},$$

$$(42) \quad v_1^2 = \frac{2}{r} - \frac{1}{a_1}.$$

D'autre part, les angles  $\chi$  et  $\chi_1$  que fait le rayon vecteur SP prolongé (fig. 27) avec les tangentes en P respectivement à l'orbite de la comète et à l'orbite de la particule sont données par les équations :

$$(43) \quad \cotg \chi = \frac{e \sin \theta}{1 + e \cos \theta},$$

$$(44) \quad \cotg \chi_1 = \frac{e_1 \sin \theta_1}{1 + e_1 \cos \theta_1}.$$

L'inclinaison mutuelle I des deux orbites PN et PN' est donnée par : (fig. 25)

$$\frac{\sin |\Omega_1 - \Omega|}{\sin I} = \frac{\sin \alpha}{\sin i},$$

ou

$$(45) \quad \sin I = \frac{\sin i \sin |\Omega_1 - \Omega|}{\sin \alpha}.$$

Désignons par  $\gamma$  l'angle entre les vitesses en P sur les orbites PN et PN'. Nous avons (fig. 27)

$$(46) \quad \cos \gamma = \cos \chi \cos \chi_1 + \sin \chi \sin \chi_1 \cos I.$$

Quand  $\gamma$  est connu,  $v_s$  est donné par l'équation :

$$(47) \quad v_s^2 = v^2 + v_1^2 - 2vv_1 \cos \gamma.$$

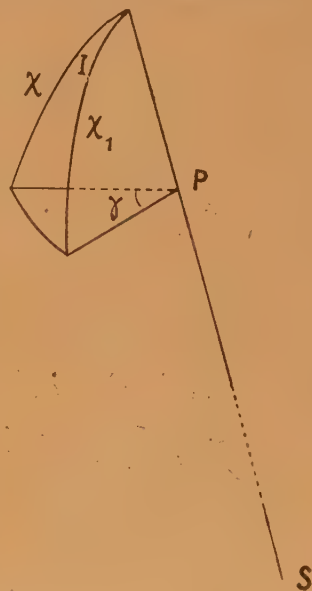


Fig. 27.

Les valeurs de  $v_s$  ainsi calculées sont contenues dans les deux dernières colonnes des tableaux II et III. On peut remarquer que, d'une manière générale, les valeurs de  $v_s$  relatives aux météores rencontrés un jour donné sont toujours minima quand les radiants de ces météores satisfont à la condition :

$$\lambda - \odot = -77^\circ \quad \beta = +38^\circ.$$

Les météores que nous observons à un moment quelconque sont donc ceux qui ont eu besoin, pour rencontrer la Terre au point qu'elle occupe à ce moment, de recevoir en P l'impulsion la plus faible. Pour toutes les dates comprises entre le 31 Juillet et le 19 Août, ces impulsions sont inférieures à 0,2, elles sont donc de l'ordre des vitesses que BREDICHINE attribuait aux éjections nucléaires des comètes <sup>(1)</sup>, éjections dont il faisait dériver les étoiles filantes. Ces vitesses se monteraient d'après lui à 0,1 ou 0,2. Les valeurs trouvées de  $v_s$  sont également de l'ordre de grandeur de celles qui sont à attendre dans des chocs entre météorites ou entre une comète et des météorites. Dans ce dernier cas, ORLOV <sup>(2)</sup> introduit même des impulsions  $v_s$  dépassant 30 km/sec, c'est-à-dire, avec nos unités  $v_s = 1$ .

25. La position du point P sur l'orbite de la comète 1862 III n'ayant été déterminée que d'une manière approximative, nous devons maintenant chercher quel changement dans la position des radiants entraînerait un déplacement de ce point. Conformément aux idées exprimées au paragraphe 23 d'après lesquelles seuls les météores à longues périodes ont pu subsister jusqu'ici, nous ne prendrons en considération que ces derniers que nous considérerons pour plus de simplicité comme paraboliques. Nous situerons toujours le point P sur l'orbite de la comète 1862 III, mais en des points dont les anomalies vraies  $\theta$  diffèrent de la valeur  $-55^\circ$  précédemment adoptée. Soient  $-75^\circ$ ,  $-70^\circ$ ,  $-65^\circ$ ,  $-60^\circ$ ,  $-50^\circ$ ,  $-45^\circ$  les nouvelles valeurs de  $\theta$ ; nous calculerons dans chacun de ces cas les quantités  $\lambda - \odot$  et  $\beta$  pour des météores paraboliques rencontrés par la Terre le 11 Juillet et le 19 Août. Il suffit pour cela de calculer, pour chaque valeur adoptée de  $\theta$ , les coordonnées écliptiques  $l'$  et  $b'$  du point P correspondant et d'effectuer des calculs en tous points analogues à ceux qui nous ont conduits ci-dessus aux radiants correspondant aux orbites paraboliques (voir paragraphe 23). Le tableau IV reproduit les résultats. (Nous y avons ajouté les résultats trouvés précédemment pour  $\theta = -55^\circ 0', 5$ .)

TABLEAU IV.

| $\theta$         | Coordonnées du radiant apparent |                   |                   |                   |
|------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                  | 11 juillet                      |                   | 19 Août           |                   |
|                  | $\lambda - \odot$               | $\beta$           | $\lambda - \odot$ | $\beta$           |
| $-75^\circ$      | $-72^\circ 49',5$               | $+42^\circ 38',5$ | $-79^\circ 21'$   | $+37^\circ 49',5$ |
| $-70^\circ$      | $-73^\circ 36'$                 | $+41^\circ 16'$   | $-79^\circ 24',5$ | $+38^\circ 16'$   |
| $-65^\circ$      | $-74^\circ 7',5$                | $+39^\circ 54',5$ | $-79^\circ 20',5$ | $+38^\circ 42'$   |
| $-60^\circ$      | $-74^\circ 37'$                 | $+38^\circ 36',5$ | $-79^\circ 15'$   | $+39^\circ 08'$   |
| $-55^\circ 0',5$ | $-75^\circ 06'$                 | $+37^\circ 18'$   | $-79^\circ 9',5$  | $+39^\circ 34'$   |
| $-50^\circ$      | $-75^\circ 33'$                 | $+36^\circ 5',5$  | $-79^\circ 6'$    | $+40^\circ 1'$    |
| $-45^\circ$      | $-75^\circ 58',5$               | $+34^\circ 50',5$ | $-78^\circ 58'$   | $+40^\circ 29',5$ |

On voit qu'il n'est pas possible de trouver, sur l'orbite de la comète 1862 III, une position du point P telle que les quantités  $\lambda - \odot$  et  $\beta$  restent absolument constantes entre le 11 Juillet et le 19 Août, dans le cas des orbites para-

<sup>(1)</sup> Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou, 1889.

<sup>(2)</sup> Astronomical Journal of Soviet Union, vol. XVI, n° 1, 1939.

boliques. Ce fait apparaît plus nettement encore sur la figure 28 où chacun des radiants donnés dans le tableau IV est représenté par un point d'abscisse  $\lambda - \odot$  et d'ordonnée  $\beta$  et où l'on a réuni par une droite <sup>(1)</sup>, les deux points correspondants au 11 Juillet et au 19 Août pour chaque valeur de  $\theta$ . La condition  $\beta = C^{\text{te}} \lambda - \odot = C^{\text{te}}$  qui réduirait cette droite à un point est le plus près d'être réalisée pour  $\theta = -60^\circ$ .

L'impossibilité de rendre compte d'une manière complète de l'invariabilité de  $\beta$  et de  $\lambda - \odot$  tient à plusieurs causes :

1<sup>o</sup>. — Nous nous sommes limités aux seules orbites paraboliques alors que le tableau III montre que si l'on considère des météores elliptiques, il en résulte un déplacement notable du radiant : ainsi pour les météores rencontrés le 19 Août, un changement de période de l'infini à 58 ans entraîne une variation de  $\lambda - \odot$  de  $0^\circ,75$ .

2<sup>o</sup>. — Les orbites des météores et de la comète ont subi de la part des planètes Terre, Jupiter, Saturne, depuis le moment de la dissociation, des perturbations. Il en résulte que des points choisis sur l'orbite *actuelle* de la comète 1862 III ne peuvent pas correspondre exactement au point *réel* de dissociation de la comète.



Fig. 28.

26. L'étude photographique des Peresides exposée au chapitre II nous a conduit à un déplacement du radiant un peu différent de celui de DENNING. Il convient de déterminer les orbites correspondant à ces nouveaux radiants et de les représenter par des épures, comme nous l'avons fait pour les orbites correspondant aux radiants de DENNING. Les dates de rencontre des météores avec la Terre ont encore été choisies les suivantes :

|              |    |    |    |    |    |
|--------------|----|----|----|----|----|
| 1883 Juillet | 11 | 15 | 20 | 25 | 31 |
| Août         | 5  | 10 | 15 | 19 |    |

Nous nous sommes bornés cette fois, au seul cas des orbites paraboliques. Le tableau V donne les orbites, la figure 29 reproduit l'épure.

<sup>(1)</sup> Ce mode de représentation ne signifie pas que le déplacement du radiant pendant la période considérée puisse être représenté par une droite. Cette dernière n'a pour but que de réunir les deux points correspondant à chaque valeur de  $\theta$ . La courbe pointillée représente le déplacement réel du radiant pour  $\theta = -55^\circ,5$ , seul cas où  $\lambda - \odot$  et  $\beta$  ont été calculées pour des dates intermédiaires.

L'existence signalée au paragraphe 21 d'une région de rapprochement mutuel des orbites se manifeste encore. Ce résultat n'est donc pas affecté par la légère différence entre notre éphéméride du radiant et l'éphéméride de DENNING. La région de rapprochement est située sur l'orbite de la comète 1862 III dont la projection horizontale se situerait entre les courbes 7 et 8 et la projection verticale entre les courbes 7 et 6. On peut prendre comme point de l'orbite de la comète 1862 III situé le plus près du centre de la région de rapprochement un point P situé à 1,43 unités astronomiques du Soleil, et d'anomalie vraie — 71,09.

TABLEAU V

| Orbite | Date<br>(1883) | Radiant   |          | $\Omega$ | $i$       | $q$   | $\omega$  |
|--------|----------------|-----------|----------|----------|-----------|-------|-----------|
|        |                | $\lambda$ | $\beta$  |          |           |       |           |
| 1      | Juillet 11     | 38°39'    | 41°3'    | 109°15'  | 106°45'   | 0,898 | 140°4'5   |
| 2      | 15             | 41°33'    | 40°45,5' | 113°5'   | 107°46,5' | 0,907 | 141°43'   |
| 3      | 20             | 45°10'    | 40°24'   | 117°51'  | 108°51'   | 0,918 | 143°44,5' |
| 4      | 25             | 48°48'    | 40°2,5'  | 112°57'  | 109°54,5' | 0,928 | 145°49,5' |
| 5      | 31             | 53°10'    | 39°36,5' | 128°22'  | 110°8'    | 0,940 | 148°27'   |
| 6      | Août 5         | 56°49'    | 39°15,5' | 133°9'   | 112°6'    | 0,950 | 150°42'   |
| 7      |                | 60°30'    | 38°54'   | 137°57'  | 113°0'    | 0,958 | 153°2,5'  |
| 8      |                | 64°11'    | 38°34'   | 142°45'  | 113°51,5' | 0,966 | 155°16'   |
| 9      |                | 67°10'    | 38°16'   | 146°36'  | 114°35'   | 0,972 | 157°4'    |

27. Les recherches exposées dans les paragraphes précédents ont montré la possibilité d'expliquer les caractères essentiels des Perséides par une dissociation de la comète en un point P de son orbite d'anomalie vraie — 55° environ. Ce point P serait situé à la fois loin du périhélie et en dehors du plan de l'écliptique. La dissociation de la comète ne peut alors être expliquée par l'action dissociatrice du soleil (qui serait maximum au périhélie) ni par celle des planètes lors du passage de la comète au voisinage de celles-ci. Les éjections nucléaires introduites par BREDICHINE paraissent artificielles. Dans le cas de la dissociation de la comète de BIÉLA on a invoqué avec succès une rencontre de cet astre avec l'essaim d'étoiles filantes des Léonides <sup>(1)</sup>. Nous allons rechercher ici la possibilité d'un phénomène analogue, mais nous devons remarquer que les courants d'étoiles filantes ne peuvent être observés que s'ils coupent l'orbite terrestre. Il existe donc certainement de nombreux courants météoriques qui ne sont pas connus : en particulier toute comète dont l'orbite ne coupe pas l'orbite de la Terre peut engendrer un tel courant inobservable pour nous.

Nous allons rechercher, parmi toutes les comètes connues, s'il en existe dont les orbites se rapprochent de celle de la comète 1862 III au voisinage du point de dissociation P. Nous adopterons pour coordonnées écliptiques et pour rayon vecteur du point P, ceux que nous avons adopté au paragraphe 22, soit :

longitude héliocentrique  $l' = 28°57'$

latitude héliocentrique  $b' = 65°15,5'$

rayon vecteur  $r = 1,217$ .

La méthode de recherche consiste à dresser, par une sélection rapide, une liste provisoire (liste A) de comètes pouvant s'approcher du point P, comètes qui seront soumises ensuite à un examen plus rigoureux. Pour dresser la liste A

<sup>(1)</sup> J. BOSLER et H. ROURE. — La comète de Biela et l'essaim des Léonides. *Journal des Observateurs*, vol. 20, n° 7, p. 105, 1937.

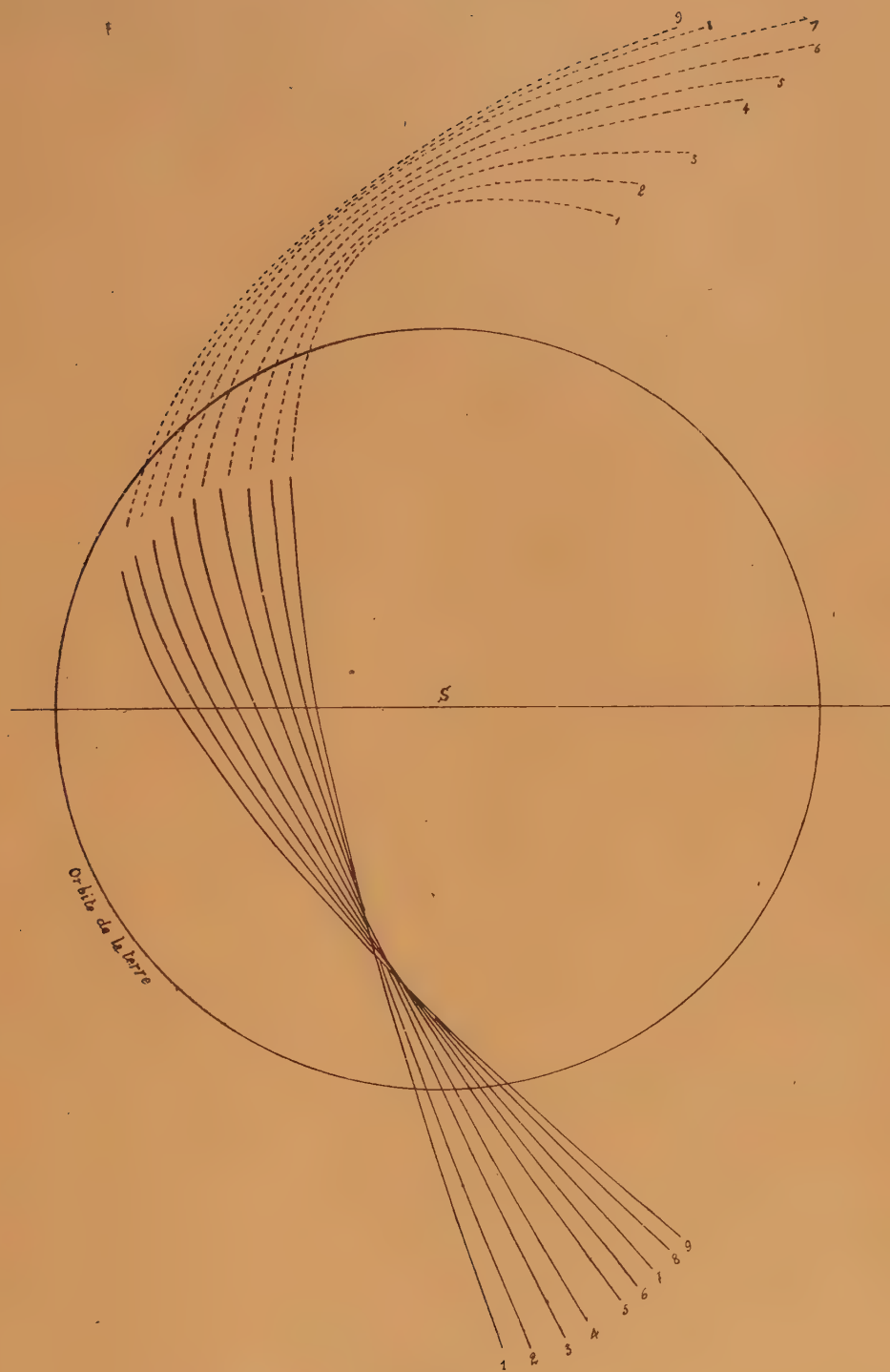


Fig. 29.

nous remarquerons que le point P, bien que situé à 1,217 unités astronomiques seulement du soleil, a une cote de 1,105 (voir paragraphe 22). Seules, des orbites très inclinées sur l'écliptique pourront contenir des points d'aussi forte cote

à une distance aussi faible du soleil. Nous rechercherons donc tout d'abord toutes les comètes dont l'orbite possède un point situé à la fois à une distance 1,217 du soleil et à une cote voisine de 1,105. Ces comètes peu nombreuses nous donneront une *liste préliminaire*.

Soit M un point d'une orbite cométaire de rayon vecteur  $SM = 1,217$  et de cote *exactement* 1,105. Tous les points tels que M se trouvent sur un cercle (fig. 30) dont le centre O est sur la perpendiculaire Sz à l'écliptique xSy et à une distance  $SO = 1,105$  de S, ce cercle étant tracé dans un plan parallèle à xSy. Le point P est donc situé sur ce cercle et si M et P ont la même longitude héliocentrique ils sont confondus et l'orbite de la comète passe par P. Par suite, toute comète qui, pour le rayon vecteur 1,217 a une cote de 1,105 et une longitude héliocentrique voisine de celle de P passe au voisinage du point P et peut être incluse dans la liste A.

Considérons une orbite de comète, son équation :

$$(48) \quad r = \frac{p}{1 + e \cos \theta},$$

dans laquelle nous posons  $r = 1,217$ , nous donnera l'anomalie vraie  $\theta$  des points pour lesquels le rayon vecteur a cette valeur. Soient, sur une sphère céleste dont le centre est au centre S du soleil (fig. 31) NH l'écliptique, NM' la trace de l'orbite d'une comète et M' le point où la sphère

est percée par le rayon vecteur SM de longueur 1,217. Soient N le nœud ascendant de l'orbite de la comète et M'H l'arc de grand cercle perpendiculaire à l'écliptique mené par M'. Si  $\omega$  désigne l'argument de latitude du périhélie de la comète, l'arc NM' vaut  $\omega + \theta$ , et le triangle sphérique rectangle NM'H donne

$$(49) \quad \sin \widehat{M'H} = \sin (\omega + \theta) \sin i,$$

$i$  désignant l'inclinaison de l'orbite de la comète. La cote  $\xi$  du point M s'écrit donc :

$$(50) \quad \xi = r \sin (\theta + \omega) \sin i,$$

où  $r = 1,217$ .

Pour calculer la longitude héliocentrique du point M désignons par  $x$  l'arc NH; le triangle sphérique NM'H donne :

$$(51) \quad \operatorname{tg} x = \operatorname{tg} (\omega + \theta) \cos i,$$

$$(52) \quad \cos x = \frac{\cos (\omega + \theta)}{\cos \widehat{M'H}},$$

et la longitude  $\lambda$  du point M s'écrit :

$$(53) \quad \lambda = \Omega + x,$$

$\Omega$  désignant la longitude du nœud de la comète.

Les équations (48) et (49) permettent de dresser la liste préliminaire ; les équations (51)/(52) et (53) de choisir dans cette liste les orbites qui passent au voisinage de P et qui constituent la liste A.

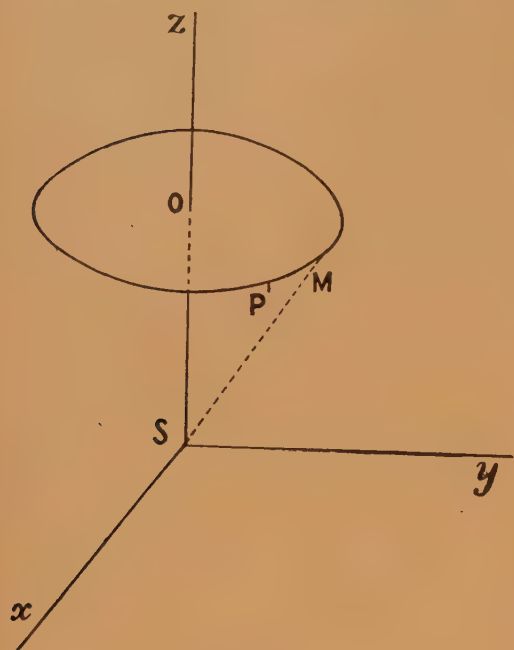


Fig. 30.

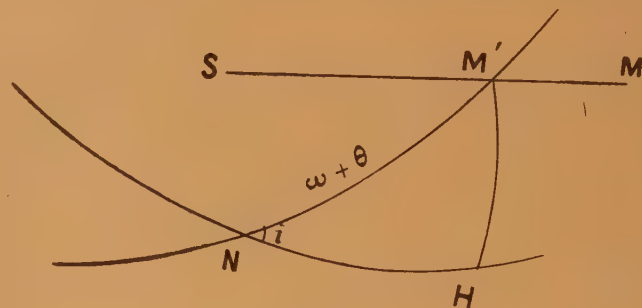


Fig. 31.

Toutes ces équations peuvent être résolues rapidement par des abaques à points alignés construits suivant la méthode exposée au paragraphe 9. L'équation (48), qui peut s'écrire

$$(54) \quad e \cos \theta + 1 - \frac{p}{r} = 0,$$

donne pour le calcul de  $\theta$  l'abaque

$$(55) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \cos \theta}{1 + \cos \theta} \\ y_1 = e & y_2 = 1 - \frac{p}{r} & y_3 = 0, \end{cases}$$

La figure 32 représente cet abaque :

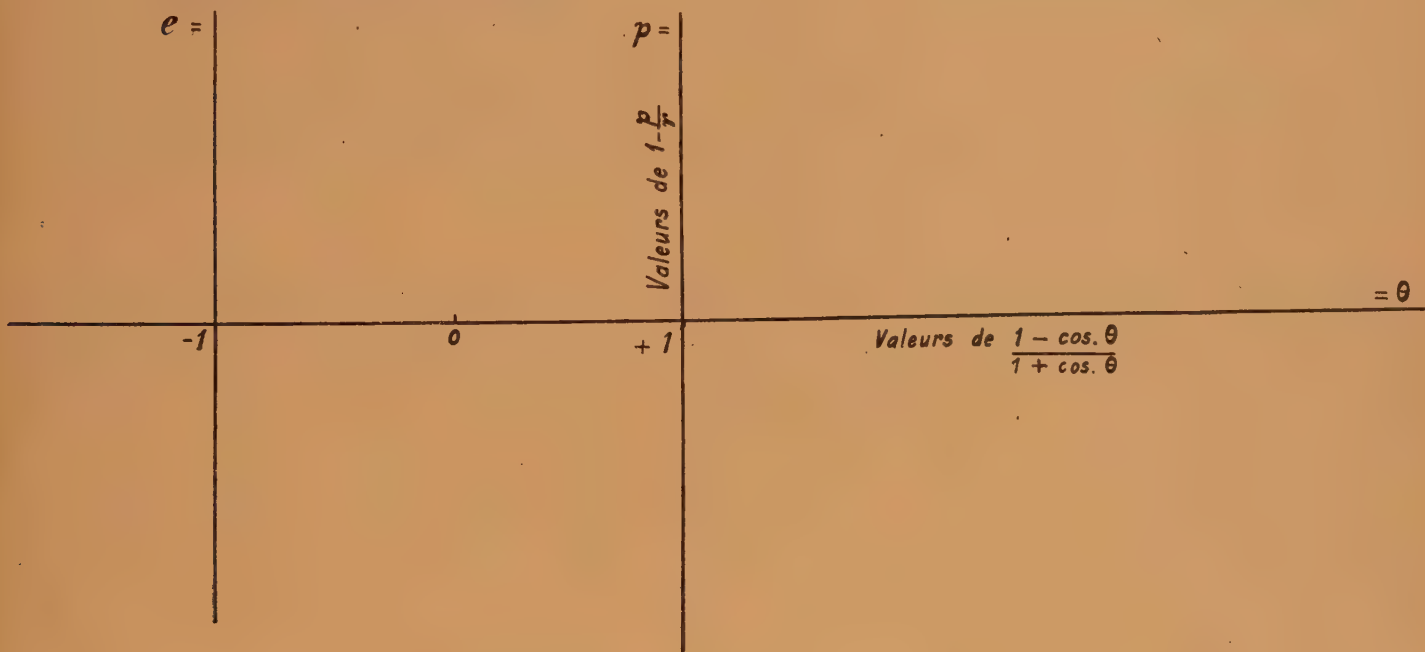


Fig. 32.

L'équation (54) ne donnant  $\theta$  que par son cosinus, si l'on considère  $\theta$  comme compris entre  $-\pi$  et  $+\pi$ , on devra adopter pour  $\theta$  deux valeurs de signes contraires et poursuivre le calcul pour chacune de ces valeurs.

En écrivant l'équation (50) sous la forme :

$$(56) \quad \sin(\theta + \omega) \sin i - \frac{\zeta}{r} = 0,$$

on obtient, pour le calcul de  $\zeta$ , l'abaque :

$$(57) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \sin i}{1 + \sin i} \\ y_1 = \sin(\omega + \theta) & y_2 = -\frac{\zeta}{r} & y_3 = 0. \end{cases}$$

Enfin l'équation (51) :

$$\cos i \operatorname{tg}(\omega + \theta) - \operatorname{tg} x = 0,$$

donne

$$(58) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \operatorname{tg}(\omega + \theta)}{1 + \operatorname{tg}(\omega + \theta)} \\ y_1 = \cos i & y_2 = -\operatorname{tg} x & y_3 = 0. \end{cases}$$

Mais si  $\omega + \theta$  se rapproche de  $-\frac{\pi}{4}$ ,  $x_3$  devient très grand et de telles valeurs de  $\omega + \theta$  ne peuvent figurer dans l'abaque. Pour remédier à cet inconvénient nous construisons un deuxième abaque en écrivant l'équation (51) sous la forme :

$$(59) \quad \operatorname{tg} x \cotg (\omega + \theta) - \cos i = 0,$$

ce qui donne :

$$(60) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \operatorname{tg} x}{1 + \operatorname{tg} x} \\ y_1 = \cotg (\omega + \theta) & y_2 = -\cos i & y_3 = 0. \end{cases}$$

abaque que nous utiliserons dans le cas  $\omega + \theta \neq -\frac{\pi}{4}$ .

28. Nous avons étudié par cette méthode toutes les comètes incluses dans les catalogues de GALLE <sup>(1)</sup> et de CROMMELIN, ainsi que toutes les comètes apparues depuis 1931, époque à laquelle s'arrête le catalogue de CROMMELIN <sup>(2)</sup>. La dernière comète étudiée a été la comète TIMMERS 1946 a. Afin de rendre plus claire l'application de la méthode nous reproduisons ci-dessous un fragment de notre tableau de recherches.

TABLEAU VI

| Comète      | $e$    | $\log q$       | $p$                       | $\theta$      | $\omega$ | $\omega + \theta$ | $i$   | $\zeta$ | $x$       | $\delta$ | $\lambda$   |
|-------------|--------|----------------|---------------------------|---------------|----------|-------------------|-------|---------|-----------|----------|-------------|
| 220         | 0,974  | $\bar{1},6817$ | 0,965                     | 102° — 102°   | 129°5    | 231°5             | 27°5  | 19°     | 0,18      |          |             |
| 221         | 1,0001 | $\bar{1},5172$ | 0,658                     | 117° — 167°   | 276,5    | 33,5              | 159,5 | 109     | 0,64 0,41 |          |             |
| 222         | 1      | $\bar{1},5051$ | 0,640                     | 118° — 118°   | 261      | 19                | 43    | 95,5    | 0,41 0,73 |          |             |
| 223 (Encke) | 0,848  | $\bar{1},5248$ | 0,619                     | 124,5 — 124,5 | 182,5    | 307               | + 58  | 13,5    | 0,24      |          |             |
| 224         | 1      | $\bar{1},9821$ | 1,919                     | 104° — 104°   | 208      | 312               | 104   | 85      | 1,18      | — 199°   | 215° 16°    |
| 225         | 1,0007 | 0,0642         | 2,320                     | 25° — 25°     | 33       | 58                | 8     | 67      | 0,96 0,16 | 32       | 202,5 170,5 |
| 226         | 0,998  | $\bar{1},9515$ | 1,787                     | 62° — 62°     | 236,5    | 298,5             | 174,5 | 67      | 0,13      |          |             |
| 227         | 0,999  | 0,0340         | 2,165                     | 39° — 39°     | 180,5    | 219,5             | 141,5 | 68      | 0,70      |          |             |
| 228         | 1      | $\bar{1},7515$ | 1,129                     | 94° — 94°     | 243,5    | 337,5             | 149,5 | 40      | 0,40      |          |             |
| 229         | 0,555  | 0,2304         | impossible <sup>(1)</sup> |               |          |                   |       |         |           |          |             |
| 230         | 0,659  | 0,0694         | 1,948                     | 25° — 25°     | 174,5    | 199,5             | 141,5 | 14      | 0,15      |          |             |
| 231         | 0,997  | $\bar{1},9931$ | 1,960                     | 52,5 — 52,5   | 87,5     | 140               | 35    | 38      | 0,47 0,43 |          |             |
| 232         | 1      | $\bar{1},1521$ | 0,284                     | 140° — 140°   | 294,5    | 74,5              | 154,5 | 74      | 1,14 0,51 | 45       | 44,5 0,5    |
| 233 (Encke) |        |                |                           |               |          |                   |       |         |           |          |             |
| 234         | 1      | $\bar{1},9568$ | 1,810                     | 61° — 61°     | 37       | 98                | < 0   | 131     | 0,90      | — 107,5  | 317 209,5   |
| 235 (Biéla) | 0,7245 | $\bar{1},9939$ | 1,700                     | 57° — 57°     | 213      | 270               | 156   | 17      | 0,15      |          |             |

<sup>(1)</sup> La distance périhélie étant égale à 1,7, aucun point de cette orbite n'a un rayon vecteur voisin de 1,217 et ne peut par suite être voisin du point P.

<sup>(1)</sup> J. G. GALLE. — *Verzeichniss der Elementer der bisher berechneten Cometenbahnen*. Breslau, 1894.

<sup>(2)</sup> A. C. D. CROMMELIN. — *Memoirs of the British Astronomical Association*, Vol. XVI, part. 2, et vol. XXX, part. 1.

Dans la première colonne du tableau VI figurent les numéros des comètes dans les catalogues de GALLE et de CROMMELIN. Les colonnes intitulées  $e$ ,  $\log q$ ,  $\omega$ ,  $i$ ,  $\Omega$ , donnent les éléments des comètes tirés de ces catalogues. Les paramètres  $p$  des orbites ont été calculés par la formule  $p = q(1 + e)$ . Dans la colonne  $\theta$  sont données les anomalies vraies correspondant à la valeur 1,217 du rayon vecteur et calculées à l'aide de l'abaque (55). Deux valeurs de signes contraires y figurent parce que cet abaque est issu de la formule (54) qui donne  $\theta$  par son cosinus. La somme  $\omega + \theta$  est donnée dans la colonne suivante pour chacune des deux déterminations de  $\theta$ . Les cotes  $\zeta$  ont été calculées à l'aide de l'abaque (57) mais puisqu'on ne doit inclure dans la liste préliminaire que des comètes pour lesquelles  $\zeta$  est voisin de  $+1,105$  le calcul n'a pas été fait dans le cas où  $\omega + \theta$  dépassait  $180^\circ$  et aurait donné des valeurs négatives de  $\zeta$ . Toutes les comètes pour lesquelles  $z$  était compris entre 0,9 et 1,4 ont été incluses dans la liste préliminaire et les calculs ont été poursuivis pour ces comètes seules. Les résultats de ces calculs sont donnés dans les trois dernières colonnes du tableau. Les arcs  $\alpha$  se déduisent des abaques (58) et (60), mais ces derniers ne donnant  $\alpha$  qu'à  $180^\circ$  près, l'indétermination a été levée en remarquant que l'équation (52) où  $\cos M'H$  est toujours positif montre que  $\cos \alpha$  est toujours du signe de  $\cos (\omega + \theta)$ . La dernière colonne  $\lambda$  fixe le choix des comètes pouvant s'approcher du point P et qui doivent être soumises à un examen plus rigoureux (comètes de la liste A). Le choix peut, sans inconvénient, être fait d'une manière très large, et toutes les comètes pour lesquelles  $\lambda$  était compris entre 0 et  $60^\circ$  ont été adoptées. On obtient ainsi la liste suivante :

TABLEAU VII

Liste A. — Comètes pouvant s'approcher du point P.

| Comète   | $\omega$  | $\theta$ | $\Omega$  | $\log q$ | $e$     | Equinoxe                         | $\zeta$      | $\lambda$ | $\Omega_{1862,0}$ |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|---------|----------------------------------|--------------|-----------|-------------------|
| 1812 I   | 199°19'   | 73°57',5 | 253°0',5  | 1,89049  | 0,95558 | 1812,0                           | 0,97         | 41°5      | 253°42',5         |
| 1825 II  | 177°18'   | 89°42'   | 192°56'   | 1,94619  | 1       | 1825,0                           | 1,11         | 13        | 193°27'           |
| 1849 I   | 208°1',5  | 85°3'    | 215°13',1 | 1,98215  | 1       | 1849,0                           | 1,18         | 16        | 215°24'           |
| 1851 IV  | 294°25'   | 73°58',5 | 44°21',5  | 1,15218  | 1       | 1851,0                           | 1,104        | 0,5       | 44°30',5          |
| 1826 V   | 279°36',5 | 90°38'   | 235°6'    | 2,42958  | 1       | Equinoxe vrai<br>du 28 nov. 1826 | 1,20<br>1,06 | 53<br>56  | 235°36',5         |
| 1877 III | 116°46',5 | 77°10',5 | 346°5'    | 0,00391  | 0,99792 | 1877,0                           | 1,10         | 14        | 345°52'           |
| 1879 II  | 3°24',5   | 107°2'   | 45°45',5  | 1,95727  | 1       | 1879,0                           | 1,07         | 14        | 45°31',5          |
| 1884 I   | 199°11',5 | 74°2',5  | 254°5',5  | 1,88971  | 0,95500 | 1880,0                           | 0,98         | 52        | 253°50',1         |
| 1898 VI  | 205°37',5 | 70°2'    | 259°6'    | 1,79688  | 1       | 1898,0                           | 1,01         | 45,5      | 258°36'           |
| 1900 II  | 12°25',5  | 62°31',5 | 328°1'    | 0,00640  | 1,0003  | 1900,0                           | 0,94         | 6         | 327°19'           |
| 1909 I   | 5°0',5    | 52°4',5  | 305°36'   | 1,92575  | 0,9948  | 1909,0                           | 0,92         | 8,5       | 304°56',5         |
| 1932 V   | 38°28'    | 71°43'   | 344°31'   | 0,01586  | 0,97698 | 1932,0                           | 1,15         | 5,5       | 343°32',5         |
| 1940 c   | 200°37',5 | 48°59'   | 293°38'   | 1,56725  | 1       | 1940,0                           | 0,93         | 19,5      | 292°33'           |

29. Une première étude des distances des orbites des comètes de la liste A à l'orbite de la comète 1862 III peut être faite graphiquement. Dans ce but représentons chacune de ces orbites par une épure analogue à celles que nous avons exécutées au paragraphe 21 pour l'étude des orbites des Perséides, la ligne de terre étant dirigée vers le point vernal et le plan horizontal étant le plan de l'écliptique. Le tracé des orbites par points s'effectue par la méthode indiquée dans ce paragraphe, en utilisant les formules (10) et (11). Toutes les orbites devant être ramenées au même équinoxe, adoptons l'équinoxe 1862,0. La ligne de terre sera dirigée vers le point vernal de cette époque. Lors de la transformation des

éléments des orbites pour les ramener à l'équinoxe 1862,0 nous obtiendrons une précision suffisante en négligeant la rotation de l'écliptique et en réduisant la précession des équinoxes à une rétrogradation uniforme du point vernal de 50''26

par an. Pour la comète 1826 V, ce calcul a été fait comme si l'orbite avait été rapportée à l'équinoxe moyen 1827,0 et non à l'équinoxe vrai du 28 Novembre 1826.

L'épure ainsi construite permet de dresser une liste plus restreinte (liste B) de comètes s'approchant de l'orbite de la comète 1862 III. Il est même possible d'indiquer une limite supérieure de la plus courte distance de chacune de ces orbites à l'orbite de 1862 III. Cette évaluation repose sur la remarque suivante : quand deux orbites ne se coupent pas rigoureusement (fig. 33), les points d'intersection de leurs projections horizontales et verticales ne se trouvent pas sur la même ligne de rappel. Ainsi la ligne de rappel menée par l'intersection  $a$  des projections horizontales ne passe pas par l'intersection  $c'$  des projections verticales mais coupe ces projections en deux points  $a'$  et  $b'$ . La plus courte distance des deux orbites est alors inférieure à  $a'b'$ . Le tableau VIII donne la liste B.

TABLEAU VIII

Liste B. — Comètes s'approchant de l'orbite de la comète 1862 III.

| 1825 II  | Approche à moins de 0,04 unité astronomique |   |
|----------|---------------------------------------------|---|
| 1826 V   | » » » 0,14 »                                | » |
| 1877 III | » » » 0,09 »                                | » |
| 1909 I   | » » » 0,04 »                                | » |
| 193 V    | » » » 0,09 »                                | » |

mais loin  
du point R

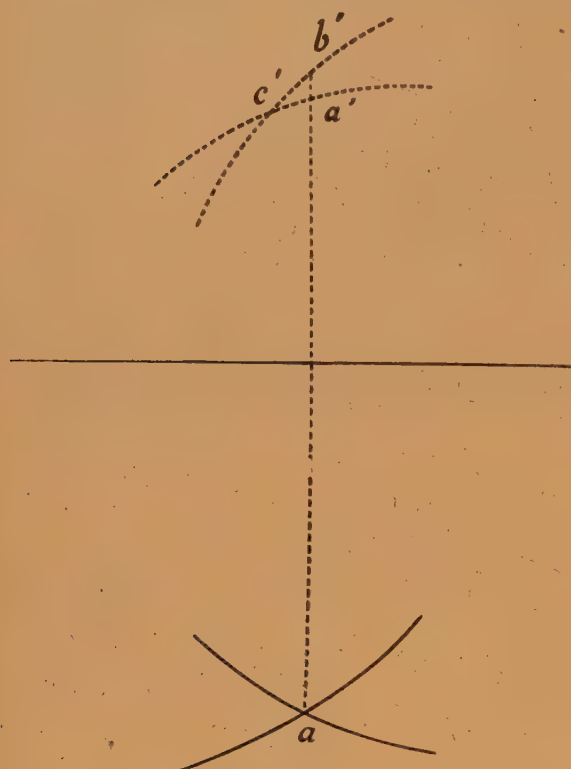


Fig. 33.

### 30. Méthode pour le calcul de la plus courte distance de deux orbites.

Les orbites de la liste B doivent maintenant être soumises à un examen rigoureux dans le but de déterminer leur plus courte distance à l'orbite de la comète 1862 III. A cet effet nous choisirons sur chacune des orbites à étudier une série de points dont nous déterminerons les distances à l'orbite de la comète 1862 III ; la comparaison des résultats obtenus nous donnera la plus courte distance. Nous avons donc à résoudre le problème de la distance d'un point M à une orbite  $c$  (fig. 34).

Supposons cette orbite elliptique et considérons un système d'axes  $Oxyz$  dont l'origine est au centre  $O$  de l'ellipse, l'axe des  $x$  étant dirigé suivant son grand axe (et dirigé positivement du côté du soleil  $S$ ), l'axe des  $y$  suivant le petit axe, et l'axe des  $z$  de manière à constituer avec  $Ox$  et  $Oy$  un trièdre trirectangle de sens direct. Soit  $H$  le point de l'ellipse tel que la droite  $HM$  soit perpendiculaire à la tangente en  $H$  à l'ellipse ; la longueur  $HM$  est la distance cherchée  $\Delta$ .

Si nous désignons par  $u$  l'anomalie excentrique du point  $H$  et par  $x_1 y_1 z_1$  ses coordonnées, nous avons :

$$x_1 = a \cos u \quad y_1 = b \sin u \quad z_1 = 0,$$

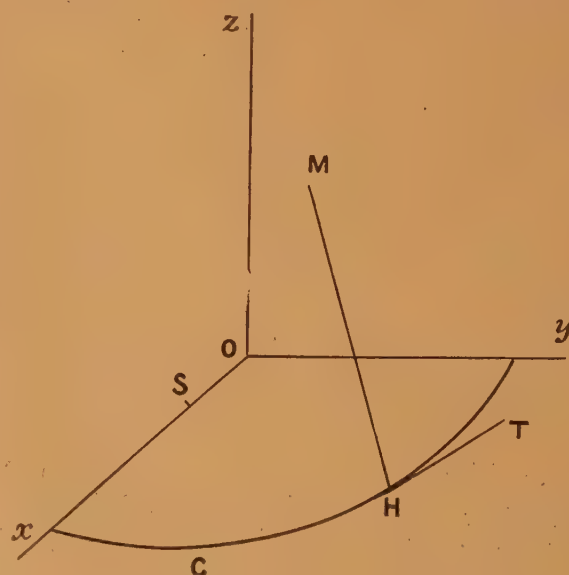


Fig. 34.

$a$  et  $b$  désignant le demi grand axe et le demi petit axe de l'ellipse. Les composantes d'un vecteur  $\vec{HT}$  porté par la tangente en  $H$  à l'ellipse sont :

$$-a \sin u \quad b \cos u \quad 0.$$

Enfin, si  $x y z$  sont les coordonnées du point  $M$ , le vecteur  $\vec{MH}$  a pour composantes :

$$a \cos u - x \quad b \sin u - y \quad -z,$$

et la condition de perpendicularité des vecteurs  $\vec{MH}$  et  $\vec{HT}$  s'écrit :

$$-(a \cos u - x)a \sin u + (b \sin u - y)b \cos u = 0$$

ou

$$(61) \quad ax \operatorname{tg} u + (b^2 - a^2) \sin u - by = 0.$$

Cette équation donne  $u$ . On a ensuite :

$$(62) \quad \Delta^2 = (x - a \cos u)^2 + (y - b \sin u)^2 + z^2.$$

Le calcul de  $u$  par l'égalité 61 conduit à la résolution d'une équation du quatrième degré, mais il est plus rapide de procéder par approximations successives car on peut construire un abaque donnant immédiatement une valeur approchée de  $u$  ; le calcul se poursuit ensuite par les méthodes classiques utilisées pour la résolution d'une équation d'un degré quelconque.

Pour la construction de l'abaque écrivons l'équation (61) sous la forme :

$$\frac{a}{b^2 - a^2} x \operatorname{tg} u - \frac{b}{b^2 - a^2} y + \sin u = 0,$$

ou, en posant :

$$(63) \quad \frac{ax}{b^2 - a^2} = m \quad \frac{by}{b^2 - a^2} = n,$$

$$(64) \quad m \operatorname{tg} u - n + \sin u = 0.$$

Nous obtenons d'après la méthode déjà plusieurs fois exposée l'abaque :

$$(65) \quad \begin{cases} x_1 = -1 & x_2 = +1 & x_3 = \frac{1 - \operatorname{tg} u}{1 + \operatorname{tg} u} = \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} - u \right) \\ y_1 = m & y_2 = -n & y_3 = \frac{-\sin u}{1 + \operatorname{tg} u} = -\frac{\sqrt{2}}{4} \frac{\sin 2u}{\cos \left( \frac{\pi}{4} - u \right)}. \end{cases}$$

La courbe  $x_3 y_3$  est symétrique par rapport à l'axe des  $x$  puisque, si l'on change  $u$  en  $u + \pi$ ,  $x_3$  ne change pas tandis que  $y_3$  change de signe. Si l'on se contente de faire varier  $u$  de 0 à  $\pi$ , on obtient le tableau suivant :

| $u$   | 0 | $\frac{\pi}{4}$       | $\frac{\pi}{2}$ | $\frac{3\pi}{4}$      | $\pi$ |
|-------|---|-----------------------|-----------------|-----------------------|-------|
| $x_3$ | 1 | 0                     | -1              | 0                     | 1     |
| $y_3$ | 0 | $-\frac{\sqrt{2}}{4}$ | 0               | $+\frac{\sqrt{2}}{4}$ | 0     |

La figure 35 représente l'abaque 65.

Les parties de l'abaque extérieures aux droites  $x = -1$  et  $x = +1$  peuvent être supprimées. L'équation (65) s'écrit en effet

$$(64 \text{ bis}) \quad (-m)(-\operatorname{tg} u) - n + \sin u = 0,$$

et l'abaque correspondant à cette équation est constitué par les trois échelles :

(65 bis) 
$$\begin{cases} x'_1 = -1 & x'_2 = +1 & x'_3 = \frac{1 + \operatorname{tg} u}{1 - \operatorname{tg} u} \\ y'_1 = -m & y'_2 = -n & y'_3 = \frac{-\sin u}{1 - \operatorname{tg} u} \end{cases}$$

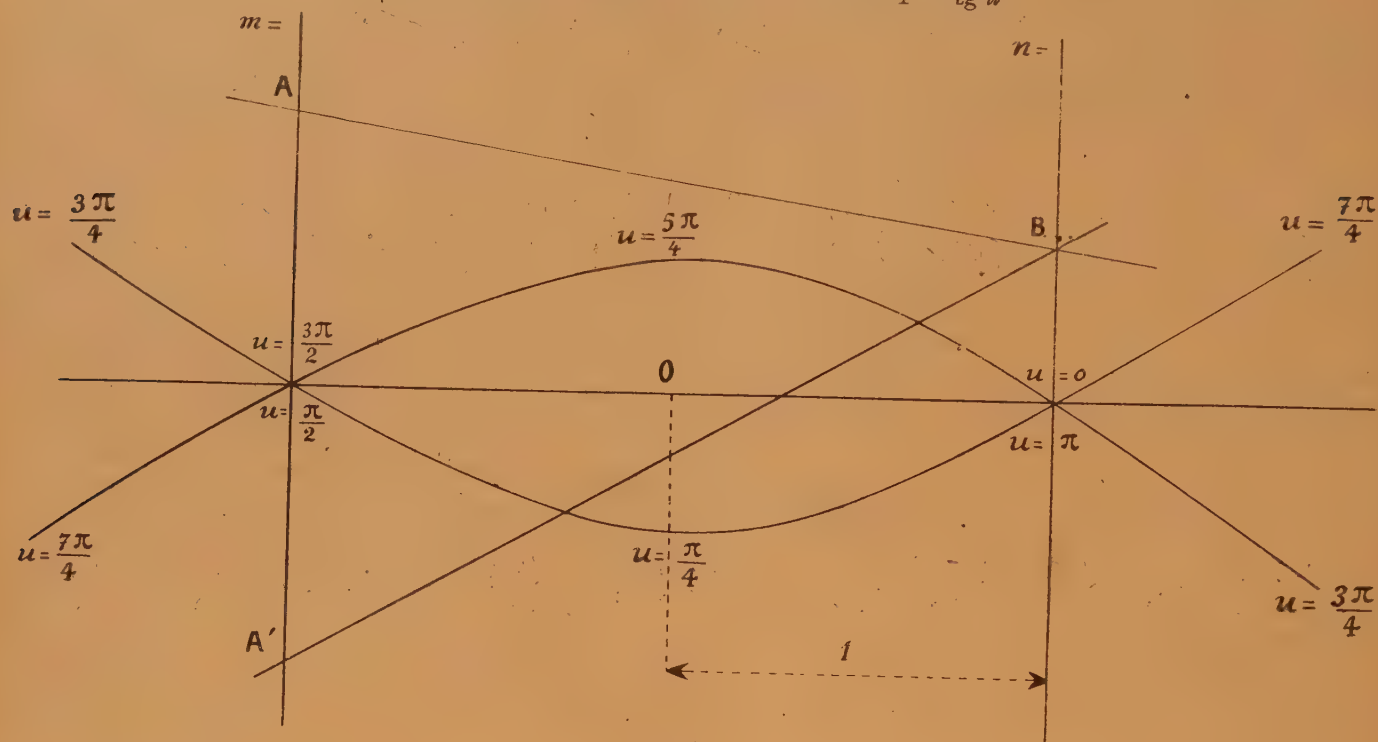


Fig. 35.

Les valeurs de  $x'_3$  et  $y'_3$  correspondant à une valeur quelconque de  $u$  sont égales aux valeurs de  $x_3$  et de  $y_3$  (système 65) correspondant au supplément  $\pi - u$ . Si donc on construit le nouvel abaque sur la même figure que l'ancien les points  $x'_3, y'_3$  correspondant aux valeurs de  $u$  comprises entre  $\frac{\pi}{2}$  et  $\pi$  et entre  $\frac{3\pi}{2}$  et  $2\pi$  (pour lesquelles les points  $x_3, y_3$  sont à l'extérieur des droites  $x = -1$  et  $x = +1$ ) tombent exactement sur les points  $x_3, y_3$  correspondant aux valeurs supplémentaires de  $u$ . On se contentera donc de construire l'abaque 65 limité à sa partie intérieure aux droites  $-1$  et  $+1$ . Si la droite AB passant par les points  $x_1, y_1$  et  $x_2, y_2$  ne coupe pas la partie tracée de la courbe  $x_3, y_3$  on fera passer une autre droite A'B qui coupe l'échelle des  $m$  à la valeur opposée  $-m$  (ce qui revient à utiliser l'abaque 65 bis). Cette droite coupe la courbe  $x_3, y_3$  en un point où on lira le supplément de la valeur de  $u$  cherchée.

On trouvera plusieurs solutions, ce qui correspond au fait que, du point M, on peut abaisser plusieurs perpendiculaires sur l'ellipse C. La valeur de  $u$  à choisir est celle qui donnera, par la suite, la plus faible valeur de  $\Delta$ .

Il convient de remarquer que l'abaque construit comme il vient d'être indiqué n'est pas valable seulement pour une orbite déterminée, mais peut être utilisé pour toutes les orbites elliptiques ; cet abaque résout en effet l'équation (64) qui donne l'angle  $u$  en fonction de deux quantités connues  $m$  et  $n$ . Il suffira, avant de se servir de l'abaque, de calculer, ce qui est possible pour tous les points M et pour toutes les ellipses, les quantités  $m$  et  $n$  par les formules (63).

**31.** Nous devons exposer maintenant le calcul des coordonnées  $x y z$  d'un point M situé sur l'orbite d'une comète de la liste B. Recherchons d'abord les coordonnées de M par rapport à un système d'axes  $S\xi\eta\zeta$  dont l'origine est au centre du soleil et dont l'axe  $S\xi$  est dirigé vers le périhélie de la comète 1862 III, l'axe des  $\eta$  dans le plan de l'orbite de cette comète et faisant avec  $S\xi$  un angle de  $90^\circ$  compté dans le sens du mouvement de la comète, et l'axe des  $\zeta$  formant avec

les deux premiers un trièdre trirectangle de sens direct. Soient, sur une sphère dont le centre est au centre du Soleil (fig. 36),  $M'$ ,  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$ , les points où les droites  $SM$ ,  $S\xi$ ,  $S\eta$ ,  $S\zeta$  coupent la sphère,  $XY$  la trace du plan de l'écliptique à l'époque 1862,0 ( $SX$  étant dirigé vers le point vernal de cette époque),  $N$  et  $N'$  les nœuds ascendants de la comète 1862 III et de la comète de la liste B,  $N''$  le nœud ascendant de l'orbite de cette dernière comète sur l'orbite de 1862 III.

Désignons par :

$\psi$  et  $\varphi$  les arcs  $NM$  et  $N'M'$

$\Omega$ ,  $i$ ,  $q$ ,  $e$ ,  $\omega$ , les éléments de la comète 1862 III

$\Omega'$ ,  $i'$ ,  $q'$ ,  $e'$ ,  $\omega'$ , les éléments de la comète de la liste B

$\theta'$ , l'anomalie vraie du point  $M$  sur l'orbite de la comète de la liste B

$r'$  le rayon vecteur du point  $M$

$\varepsilon$ , l'inclinaison de l'orbite de la comète de la liste B sur l'orbite de la comète 1862 III

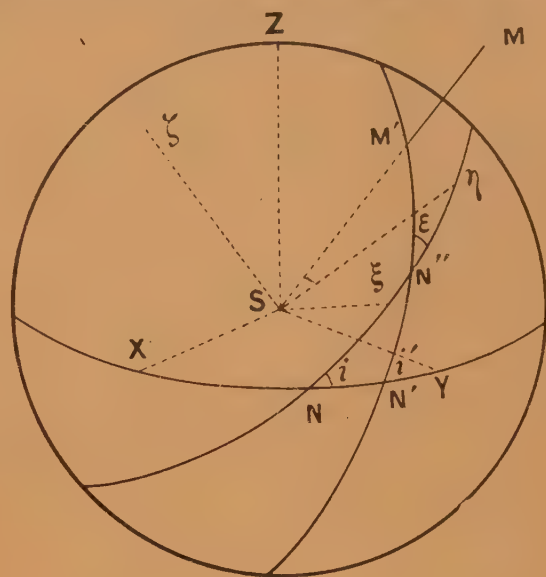


Fig. 36.

L'arc  $N'M'$  vaut  $\omega' + \theta'$  et l'arc  $N''M'$   $\omega' + \theta' - \varphi$ . De même l'arc  $\xi N''$  vaut  $\psi - \omega$ , et nous pouvons écrire

$$(66) \quad \begin{cases} \xi = r' \cos(MS\xi) = r'[\cos(\psi - \omega) \cos(\omega' + \theta' - \varphi) - \sin(\psi - \omega) \sin(\omega' + \theta' - \varphi) \cos \varepsilon] \\ \eta = r' \cos(MS\eta) = r'[\sin(\psi - \omega) \cos(\omega' + \theta' - \varphi) + \cos(\psi - \omega) \sin(\omega' + \theta' - \varphi) \cos \varepsilon] \\ \zeta = r' \cos(MS\zeta) = r' \sin(\omega' + \theta' - \varphi) \sin \varepsilon \end{cases}$$

avec

$$(67) \quad r' = \frac{p'}{1 + e' \cos \theta'}$$

Le système d'axes  $S\xi\eta\zeta$  ne diffère du système  $Oxyz$  défini au paragraphe 30, et par rapport auquel nous devons exprimer les coordonnées  $xyz$  du point  $M$ , que par une translation,  $SO$  (fig. 34) de l'origine sur l'axe des  $\xi$ . La distance  $SO$  est la demi distance  $c$  des foyers de l'orbite de 1862 III, soit  $ae$  et l'on a :

$$(68) \quad x = \xi + ae \quad y = \eta \quad z = \zeta,$$

d'où :

$$(69) \quad \begin{cases} x = r'[\cos(\psi - \omega) \cos(\omega' + \theta' - \varphi) - \sin(\psi - \omega) \sin(\omega' + \theta' - \varphi) \cos \varepsilon] + ae \\ y = r'[\sin(\psi - \omega) \cos(\omega' + \theta' - \varphi) + \cos(\psi - \omega) \sin(\omega' + \theta' - \varphi) \cos \varepsilon] \\ z = r' \sin(\omega' + \theta' - \varphi) \sin \varepsilon \end{cases}$$

Il reste à exprimer les arcs  $\varphi$  et  $\psi$  par rapport aux éléments des deux comètes. Le triangle sphérique  $NN'N''$  donne :

$$(70) \quad \cos \varepsilon = \cos i \cos i' + \sin i \sin i' \cos(\Omega' - \Omega)$$

$$(71) \quad \sin \psi = \frac{\sin i' \sin(\Omega' - \Omega)}{\sin \varepsilon}$$

$$(72) \quad \sin \varphi = \frac{\sin i \sin(\Omega' - \Omega)}{\sin \varepsilon}$$

$$(73) \quad -\sin(\Omega' - \Omega) \cos i' = \sin \varphi \cos \psi - \sin \psi \cos \varphi \cos \varepsilon$$

$$(74) \quad \sin(\Omega' - \Omega) \cos i = \sin \psi \cos \varphi - \sin \varphi \cos \psi \cos \varepsilon$$

| $\theta'$ | $\cos \theta$ | $1 + e' \cos \theta'$ | $r'$   | $\omega' + \theta' - \varphi$ | $\cos (\omega' + \theta' - \varphi)$ | $\frac{\cos (\psi - \omega)}{\cos (\omega' + \theta' - \varphi)}$ | $\sin (\omega' + \theta' - \varphi)$ | $\frac{\sin (\omega' + \theta' - \varphi)}{\sin (\psi - \omega) \cos \varepsilon}$ | $\frac{z}{r'}$ | $\frac{\cos (\omega' + \theta' - \varphi)}{\sin (\psi - \omega)}$ |
|-----------|---------------|-----------------------|--------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| -55°      | 0,5736        | 1,5736                | 1,1228 | 4°23',5                       | 0,9971                               | 0,6754                                                            | + 0,0766                             | - 0,0288                                                                           | 0,7042         | - 0,8335                                                          |
| -56       | 0,5592        | 1,5592                | 1,1322 | 3°23',5                       | 0,9982                               | 0,6762                                                            | + 0,0592                             | - 0,0222                                                                           | 0,6984         | - 0,7343                                                          |
| -57       | 0,5446        | 1,5446                | 1,1439 | 2°23',5                       | 0,9991                               | 0,6768                                                            | + 0,0417                             | - 0,0156                                                                           | 0,6924         | - 0,7349                                                          |
| -58       | 0,5299        | 1,5299                | 1,1549 | 1°23',5                       | 0,9997                               | 0,6772                                                            | + 0,0243                             | - 0,0091                                                                           | 0,6863         | - 0,7354                                                          |
| -59       | 0,5150        | 1,5150                | 1,1663 | 0°23',5                       | 1,0000                               | 0,6774                                                            | + 0,0068                             | - 0,0025                                                                           | 0,6799         | - 0,7356                                                          |
| -60       | 0,5000        | 1,5000                | 1,1779 | - 0°36',5                     | 0,9999                               | 0,6773                                                            | - 0,0106                             | + 0,0040                                                                           | 0,6733         | - 0,7355                                                          |
| -61       | 0,4848        | 1,4848                | 1,1900 | - 1°36',5                     | 0,9996                               | 0,6771                                                            | - 0,0281                             | + 0,0105                                                                           | 0,6666         | - 0,7353                                                          |
| -62       | 0,4695        | 1,4695                | 1,2024 | - 2°36',5                     | 0,9990                               | 0,6769                                                            | - 0,0455                             | + 0,0171                                                                           | 0,6598         | - 0,7349                                                          |
| -63       | 0,4540        | 1,4540                | 1,2152 | - 3°36',5                     | 0,9980                               | 0,6760                                                            | - 0,0629                             | + 0,0236                                                                           | 0,6524         | - 0,7341                                                          |
| -64       | 0,4384        | 1,4384                | 1,2284 | - 4°36',5                     | 0,9968                               | 0,6752                                                            | - 0,0803                             | + 0,0301                                                                           | 0,6451         | - 0,7332                                                          |
| -65       | 0,4226        | 1,4226                | 1,2480 | - 5°36',5                     | 0,9952                               | 0,6741                                                            | - 0,0977                             | + 0,0367                                                                           | 0,6374         | - 0,7321                                                          |

| $\theta'$ | $u$<br>Graphique | $u$     | $\cos u$ | $\sin u$ | $a \cos u$ | $b \sin u$ | $a \cos u - x$ | $b \sin u - y$ | $(a \cos u - x)^2$ |
|-----------|------------------|---------|----------|----------|------------|------------|----------------|----------------|--------------------|
| -55°      | - 6°             | - 6°48' | 0,9930   | - 0,1184 | 24,1099    | - 0,8015   | + 0,0020       | - 0,0077       | 0,0000             |
| -56       |                  | - 6°51' | 0,9929   | - 0,1193 | 24,1075    | - 0,8076   | - 0,0011       | + 0,0013       | 0,0000             |
| -57       |                  | - 6°56' | 0,9927   | - 0,1207 | 24,1027    | - 0,8170   | - 0,0066       | + 0,0072       | 0,0000             |
| -58°      |                  | - 7°2'  | 0,9925   | - 0,1224 | 24,0978    | - 0,8286   | - 0,0120       | + 0,0110       | 0,0001             |
| -59       | - 6°             | - 7°10' | 0,9922   | - 0,1248 | 24,0905    | - 0,8448   | - 0,0197       | + 0,0103       | 0,0004             |
| -60       |                  | - 7°17' | 0,9919   | - 0,1268 | 24,0832    | - 0,8583   | - 0,0271       | + 0,0123       | 0,0007             |
| -61       |                  | - 7°22' | 0,9917   | - 0,1282 | 24,0784    | - 0,8678   | - 0,0321       | + 0,0187       | 0,0010             |
| -62       |                  | - 7°30' | 0,9914   | - 0,1305 | 24,0711    | - 0,8834   | - 0,0394       | + 0,0191       | 0,0016             |
| -63       |                  | - 7°37' | 0,9912   | - 0,1325 | 24,0662    | - 0,8969   | - 0,0438       | + 0,0215       | 0,0019             |
| -64       |                  | - 7°43' | 0,9909   | - 0,1343 | 24,0590    | - 0,9098   | - 0,0506       | + 0,0250       | 0,0026             |
| -65       | - 9°             | - 7°49' | 0,9907   | - 0,1360 | 24,0541    | - 0,9206   | - 0,0548       | + 0,0306       | 0,0030             |

| $\sin(\omega' + \theta'' - \varphi) \times \cos(\psi - \omega) \cos \varepsilon$ | $\frac{y}{r'}$ | $\frac{r'}{z}$ | $\frac{z}{x}$ | $x$     | $y$      | $z$      | $m$      | $n$      | Equation                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------|----------|----------|----------|----------|------------------------------------------|
| + 0,0265                                                                         | - 0,7070       | + 0,0659       | + 0,7907      | 24,1079 | - 0,7938 | + 0,0740 | - 1,0767 | + 0,0099 | - 1,0767 $\lg u$ - 0,0099 + $\sin u = 0$ |
| + 0,0205                                                                         | - 0,7138       | + 0,0509       | + 0,7914      | 24,1086 | - 0,8089 | + 0,0577 | - 1,0767 | + 0,0101 | - 1,0767 $\lg u$ - 0,0101 + $\sin u = 0$ |
| + 0,0144                                                                         | - 0,7205       | + 0,0359       | + 0,7920      | 24,1092 | - 0,8242 | + 0,0411 | - 1,0767 | + 0,0103 | - 1,0767 $\lg u$ - 0,0103 + $\sin u = 0$ |
| + 0,0084                                                                         | - 0,7270       | + 0,0209       | + 0,7926      | 24,1098 | - 0,8396 | + 0,0241 | - 1,0767 | + 0,0104 | - 1,0767 $\lg u$ - 0,0104 + $\sin u = 0$ |
| + 0,0024                                                                         | - 0,7332       | + 0,0058       | + 0,7930      | 24,1102 | - 0,8551 | + 0,0068 | - 1,0768 | + 0,0106 | - 1,0768 $\lg u$ - 0,0106 + $\sin u = 0$ |
| - 0,0036                                                                         | - 0,7391       | - 0,0091       | + 0,7931      | 24,1103 | - 0,8706 | - 0,0107 | - 1,0768 | + 0,0108 | - 1,0768 $\lg u$ - 0,0108 + $\sin u = 0$ |
| - 0,0097                                                                         | - 0,7450       | - 0,0242       | + 0,7933      | 24,1105 | - 0,8865 | - 0,0288 | - 1,0768 | + 0,0110 | - 1,0768 $\lg u$ - 0,0110 + $\sin u = 0$ |
| - 0,0157                                                                         | - 0,7506       | - 0,0391       | + 0,7933      | 24,1105 | - 0,9025 | - 0,0470 | - 1,0768 | + 0,0112 | - 1,0768 $\lg u$ - 0,0112 + $\sin u = 0$ |
| - 0,0217                                                                         | - 0,7558       | - 0,0541       | + 0,7928      | 24,1100 | - 0,9184 | - 0,0657 | - 1,0767 | + 0,0114 | - 1,0767 $\lg u$ - 0,0114 + $\sin u = 0$ |
| - 0,0278                                                                         | - 0,7610       | - 0,0690       | + 0,7924      | 24,1096 | - 0,9348 | - 0,0847 | - 1,0767 | + 0,0116 | - 1,0767 $\lg u$ - 0,0116 + $\sin u = 0$ |
| - 0,0338                                                                         | - 0,7659       | - 0,0840       | + 0,7917      | 14,1089 | - 0,9512 | - 0,1044 | - 1,0767 | + 0,0118 | - 1,0767 $\lg u$ - 0,0118 + $\sin u = 0$ |

| $(b \sin u - y)^2$ | $z^2$  | $\Delta^2$ | $\Delta$ | $\frac{u}{2}$ | $\lg \frac{u}{2}$ | $\lg \frac{\theta}{2}$ | $\frac{\theta}{2}$ | $\theta$ |
|--------------------|--------|------------|----------|---------------|-------------------|------------------------|--------------------|----------|
| 0,0001             | 0,0055 | 0,0056     | 0,0748   | - 3°24'       | - 0,0594          | - 0,4177               | - 22°40',5         | - 45°21' |
| 0,0000             | 0,0033 | 0,0033     | 0,0574   | - 3°25',5     | - 0,0598          | - 0,4205               | - 22°48',5         | - 45°37' |
| 0,0001             | 0,0017 | 0,0018     | 0,0424   | - 3°28'       | - 0,0606          | - 0,4261               | - 23°4',5          | - 46°9'  |
| 0,0001             | 0,0006 | 0,0008     | 0,0283   | - 3°31'       | - 0,0615          | - 0,4324               | - 23°23'           | - 46°46' |
| 0,0001             | 0,0000 | 0,0005     | 0,0224   | - 3°35'       | - 0,0626          | - 0,4402               | - 23°45',5         | - 47°31' |
| 0,0002             | 0,0001 | 0,0010     | 0,0316   | - 3°38',5     | - 0,0636          | - 0,4472               | - 24°5',5          | - 48°11' |
| 0,0003             | 0,0008 | 0,0021     | 0,0458   | - 3°41'       | - 0,0644          | - 0,4528               | - 24°21',5         | - 48°43' |
| 0,0004             | 0,0022 | 0,0042     | 0,0648   | - 3°45'       | - 0,0655          | - 0,4606               | - 24°44'           | - 49°28' |
| 0,0005             | 0,0043 | 0,0067     | 0,0819   | - 3°48',5     | - 0,0666          | - 0,4683               | - 25°5',5          | - 50°11' |
| 0,0006             | 0,0072 | 0,0104     | 0,1020   | - 3°51',5     | - 0,0674          | - 0,4739               | - 25°21',5         | - 50°43' |
| 0,0009             | 0,0109 | 0,0148     | 0,1217   | - 3°54',5     | - 0,0683          | - 0,4802               | - 25°39'           | - 51°18' |

Des équations (73) et (74) on tire :

$$(75) \quad \cos \psi = \frac{\sin (\Omega' - \Omega)(\cos i - \cos \varepsilon \cos i')}{\sin \varphi \sin^2 \varepsilon}$$

$$(76) \quad \cos \varphi = \frac{\sin (\Omega' - \Omega)(\cos i \cos \varepsilon - \cos i')}{\sin \psi \sin^2 \varepsilon}$$

$\varepsilon$  doit être pris positif ;  $\varphi$  et  $\psi$  sont comptés dans le sens du mouvement de chaque comète de 0 à 360°.

Le calcul de  $x, y, z$  s'effectue par l'application successive des formules (70) // (71) // (72) // (75) // (76) // (67) // (69). Les équations (63) donnent ensuite  $m$  et  $n$  et l'équation (64) (que l'on résoud d'abord approximativement par l'abaque 65 puis d'une manière plus rigoureuse par les méthodes classiques d'approximation) donne  $u$ .  $\Delta$  se calcule ensuite par l'équation (62). On peut également calculer l'anomalie vraie  $\theta$  du pied H de la perpendiculaire abaissée de M sur cette orbite. Ce calcul s'effectue par la formule :

$$(77) \quad \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{u}{2}.$$

32. A titre d'exemple nous allons reproduire l'ensemble des calculs dans le cas de la comète 1825 II. Le catalogue de GALLE donne pour cette comète les éléments :

$$\left. \begin{aligned} \omega' &= 177^{\circ}18'15'' \\ \Omega' &= 192^{\circ}56'10'' \\ i' &= 89^{\circ}41'47'' \\ \log q' &= 1,94619 \\ &\text{parabolique} \end{aligned} \right\} 1825,0$$

Les mêmes éléments rapportés à l'équinoxe 1862,0 (en considérant toujours la précession des équinoxes comme un déplacement uniforme du point vernal sur un écliptique supposé fixe) sont donnés ci-dessous à une demi-minute près, ainsi que ceux de la comète 1862 III :

| Comète 1825 II             | Comète 1862 III             |
|----------------------------|-----------------------------|
| $\omega' = 177^{\circ}18'$ | $\omega = 152^{\circ}45',5$ |
| $\Omega' = 193^{\circ}27'$ | $\Omega = 137^{\circ}27'$   |
| $i' = 89^{\circ}42'$       | $i = 113^{\circ}34'$        |
| $\log q' = 1,9462$         | $\log q = 1,98347$          |
| $p' = 1,7669$              | $e = 0,96035$               |
| parabolique                | $a = 24,2799$               |

d'où :

|                                                             |                    |                                                                         |                            |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $\Omega' - \Omega = 56^{\circ}0'$                           | $\cos i = -0,3998$ | $\cos i' = 0,0052$                                                      | $\cos i \cos i' = -0,0021$ |
| $\sin i = 0,9166$                                           | $\sin i' = 1,0000$ | $\sin i \sin i' = 0,9166$                                               |                            |
| $\cos (\Omega' - \Omega) = 0,5592$                          |                    | $\sin i \sin i' \cos (\Omega' - \Omega) = 0,5126$                       |                            |
|                                                             |                    | $\cos \varepsilon = 0,5105$                                             |                            |
|                                                             |                    | $\varepsilon = 59^{\circ}18',5$                                         |                            |
|                                                             |                    | $\sin \varepsilon = 0,8599$                                             |                            |
|                                                             |                    | $\operatorname{cosec} \varepsilon = 1,1630$                             |                            |
|                                                             |                    | $\operatorname{cosec}^2 \varepsilon = 1,3526$                           |                            |
| $\sin (\Omega' - \Omega) = 0,8290$                          |                    | $\frac{\sin (\Omega' - \Omega)}{\sin^2 \varepsilon} = 1,1213$           |                            |
| $\frac{\sin (\Omega' - \Omega)}{\sin \varepsilon} = 0,9641$ |                    | $\frac{\sin (\Omega' - \Omega)}{\sin \psi \sin^2 \varepsilon} = 1,1631$ |                            |
| $\sin \psi = 0,9641$                                        |                    |                                                                         |                            |

$$\sin \varphi = 0,8837$$

$$\begin{aligned}\cos \varepsilon \cos i &= 0,2041 \\ \cos \varepsilon \cos i - \cos i' &= 0,2093 \\ \cos \psi &= -0,2656 \\ \psi &= 105^{\circ}24' \\ \varphi &= 117^{\circ}54',5\end{aligned}$$

$$\frac{\sin (\Omega' - \Omega)}{\sin \varphi \sin^2 \varepsilon} = 1,2689$$

$$\begin{aligned}\cos \varepsilon \cos i' &= +0,0027 \\ \cos i - \cos \varepsilon \cos i' &= -0,4025 \\ \cos \varphi &= -0,4681\end{aligned}$$

De la valeur trouvée de  $\psi$  on déduit :

$$\begin{aligned}\psi - \omega &= -47^{\circ}21',5 \\ \cos (\psi - \omega) &= 0,6774 \\ \cos (\psi - \omega) \cos \varepsilon &= 0,3458\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sin (\psi - \omega) &= -0,7356 \\ \sin (\psi - \omega) \cos \varepsilon &= -0,3755\end{aligned}$$

D'autre part les éléments de la comète 1862 III permettent de calculer les constantes :

$$ae = 23,3172 \quad b = 6,7692 \quad \frac{a}{b^2 - a^2} = -0,04466 \quad \frac{b}{b^2 - a^2} = -0,01245 \quad \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} = 7,0315$$

La suite des calculs est reproduite dans le tableau IX :

33. Le tableau X reproduit les résultats relatifs aux 5 orbites de la liste B. La colonne  $\theta'$  donne les anomalies vraies de points choisis sur l'orbite de chaque comète, la colonne  $\Delta$  la distance de chacun de ces points à l'orbite de 1862 III, c'est-à-dire la longueur de la perpendiculaire abaissée de ce point sur cette dernière orbite, et enfin la colonne  $\theta$  donne l'anomalie vraie du pied de cette perpendiculaire sur l'orbite de 1862 III.

TABIEAU X

| Comète 1825 II  |          |          | Comète 1826 V |          |           |
|-----------------|----------|----------|---------------|----------|-----------|
| $\theta'$       | $\Delta$ | $\theta$ | $\theta'$     | $\Delta$ | $\theta$  |
| - 55°           | 0,0748   | - 45°21' | - 165°        | 0,1803   | - 70°11'  |
| - 56            | 0,0574   | - 45°37' | - 164         | 0,0448   | - 67°02'  |
| - 57            | 0,0424   | - 46°09' | - 163°50'     | 0,0452   | - 66°34'  |
| - 58            | 0,0283   | - 46°46' | - 163°30'     | 0,0759   | - 65°34'  |
| - 59            | 0,0224   | - 47°31' | - 163         | 0,1327   | - 64°02'  |
| - 60            | 0,0316   | - 48°11' |               |          |           |
| - 61            | 0,0458   | - 48°43' |               |          |           |
| - 62            | 0,0648   | - 49°28' |               |          |           |
| - 63            | 0,0819   | - 50°21' |               |          |           |
| Comète 1877 III |          |          | Comète 1909 I |          |           |
| $\theta'$       | $\Delta$ | $\theta$ | $\theta'$     | $\Delta$ | $\theta$  |
| - 46°           | 0,0602   | - 58°10' | 37°           | 0,0319   | - 2°15' 5 |
| - 47            | 0,0601   | - 57°22' | 38            | 0,0298   | - 2°31' 5 |
| - 48            | 0,0597   | - 58°37' | 39            | 0,0291   | - 2°47'   |
| - 49            | 0,0649   | - 55°49' | 40            | 0,0300   | - 3°3' 5  |
| - 50            | 0,0741   | - 55°1'  | 41            | 0,0325   | - 3°20'   |
|                 |          |          | 42            | 0,0361   | - 3°36' 5 |
|                 |          |          | 43            | 0,0406   | - 3°52' 5 |

TABLEAU X (suite)

| Comète 1932 V |          |          |
|---------------|----------|----------|
| $\theta'$     | $\Delta$ | $\theta$ |
| 28°           | 0,0775   | — 48°6'  |
| 29            | 0,0746   | — 48°57' |
| 30            | 0,0722   | — 49°48' |
| 31            | 0,0709   | — 50°37' |
| 32            | 0,0705   | — 51°27' |
| 33            | 0,0710   | — 52°17' |
| 34            | 0,0728   | — 53°6'  |
| 35            | 0,0754   | — 53°56' |

Enfin, le tableau XI résume l'ensemble de ces résultats. Nous y donnons pour chacune des 5 comètes étudiées ci-dessus, sa période  $T$ , la plus courte distance  $\Delta_m$  de son orbite à l'orbite de la comète 1862 III, ainsi que l'anomalie vraie  $\theta_m$  du pied de la perpendiculaire commune sur l'orbite de 1862 III.

TABLEAU XI

| Comète   | $T$       | $\Delta_m$ | $\theta_m$ |
|----------|-----------|------------|------------|
| 1825 II  | $\infty$  | 0,022      | — 47°5     |
| 1826 V   | $\infty$  | 0,045      | — 67       |
| 1877 III | 10719 ans | 0,060      | — 58,6     |
| 1932 V   | 302,5 ans | 0,071      | — 51,5     |
| 1909 I   | 123,4 ans | 0,029      | — 2,8      |

BREDICHINE <sup>(1)</sup> a insisté sur la possibilité de la scission d'une comète en plusieurs autres, et plusieurs comètes parmi lesquelles la célèbre comète de BIELA nous ont montré de tels phénomènes ORLOV <sup>(2)</sup> abonde dans le même sens et attribue ces phénomènes de scission à la rencontre de la comète avec une météorite ; il a même pu constituer 5 familles de comètes dont les orbites passent sensiblement par un même point, le point de collision. Dans le cas qui nous occupe, si nous remarquons que, par suite des perturbations des planètes, les orbites de corps séparés dans un passé lointain ne peuvent plus se couper rigoureusement aujourd'hui, nous sommes amenés à voir dans l'ensemble des comètes 1862 III, 1825 II, 1826 V, 1877 III, 1932 V, et dans le courant des Perséides les résidus d'une comète ayant subi une telle rupture. La comète 1909 I qui ne s'approche pas de 1862 III au voisinage du point P mais au voisinage du périhélie se serait séparée de la comète 1862 III ultérieurement.

<sup>(1)</sup> Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou, 1889.

<sup>(2)</sup> Evolution and origine of comets. — *Astronomical Journal of Soviet Union*. Vol. 16, n° 1 1939.

# TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION .....                                                                                                                                     | I  |
| 1. Caractères des Perséides d'après Denning .....                                                                                                      | I  |
| 2. Essai d'explication des caractères des Perséides fondé sur une dissociation du courant par l'attraction des planètes. Equation de Callandreau ..... | 2  |
| 3. Étude de l'application aux Perséides de l'équation de Callandreau. Cas d'une dispersion du courant par l'action de Saturne .....                    | 5  |
| 4. Cas d'une dispersion du courant par l'action de la Terre.....                                                                                       | 8  |
| 5. Plan de notre étude des Perséides .....                                                                                                             | II |

## CHAPITRE PREMIER

### ESSAI DE VÉRIFICATION DE LA DURÉE DES PERSÉIDES

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. Principe de la méthode.....                                                                                                                                     | 12 |
| 7. Recherche de la répartition théorique des distances $d$ des traînées météoriques au radiant des Perséides, tous les météores considérés étant sporadiques ..... | 12 |
| 8. Les observations utilisées .....                                                                                                                                | 16 |
| 9. Le traitement des observations.....                                                                                                                             | 17 |
| 10. La fonction de fréquences des distances $d$ et $d'$ et la durée des Perséides .....                                                                            | 30 |

## CHAPITRE II

### ÉTUDE PHOTOGRAPHIQUE DU DÉPLACEMENT DU RADIANT DES PERSÉIDES

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 11. Les catalogues de photographies de météores utilisés.....                                                                           | 36 |
| 12. Détermination du radiant d'un essaim de météores à l'aide de plusieurs traînées enregistrées sur une même plaque photographique.... | 36 |
| 13. Adaptation de la méthode précédente à l'études de Perséides.....                                                                    | 38 |
| 14. Effet de l'attraction zénithale et de l'aberration diurne .....                                                                     | 40 |
| 15. Remarque sur la définition de $t$ .....                                                                                             | 43 |
| 16. Récapitulation des formules. ....                                                                                                   | 44 |
| 17. Tableau des traînées utilisées. Remarques. ....                                                                                     | 45 |
| 18. Reproduction des calculs relatifs à l'attraction zénithale et à l'aberration diurne .....                                           | 52 |
| 19. Le déplacement du radiant (calculs, résultats) .....                                                                                | 60 |
| 20. Étude des résidus, distances des traînées, au radiant .....                                                                         | 63 |

## CHAPITRE III

### LES PERSÉIDES DANS L'ESPAGNE

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 21. Études des orbites correspondant aux radiants de Denning. Les orbites s'entre-croisent autour d'un point P situé sur l'orbite de la comète génératrice 1862 III ..... | 68 |
| 22. Problème inverse : Radiants des météores issus du point P. Méthode.....                                                                                               | 71 |

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 23. Radiants des météores issus du point P : calculs, résultats, explication possible des caractères des Perséides .....                                 | 80 |
| 24. Calcul de l'impulsion reçue par les météores au point P. ....                                                                                        | 83 |
| 25. Effet d'un déplacement du point P sur l'orbite de la comète génératrice. ....                                                                        | 84 |
| 26. Étude des orbites correspondant aux radiants déterminés au chapitre II .....                                                                         | 85 |
| 27. Recherche de comètes s'approchant de l'orbite de la comète 1862 III au voisinage du point P. Méthode de sélection rapide .....                       | 86 |
| 28. Application de la méthode ; établissement d'une liste de comètes, pouvant s'approcher du point P (liste A) .....                                     | 90 |
| 29. Étude des comètes de la liste A par des épures . Établissement d'une liste (liste B) de comètes s'approchant de l'orbite de la comète 1862 III. .... | 91 |
| 30. Méthode pour le calcul de la plus courte distance de deux orbites .....                                                                              | 92 |
| 31. Méthode pour le calcul de la plus courte distance de deux orbites ( <i>suite</i> ) .....                                                             | 94 |
| 32. Exemple. Reproduction des calculs relatifs à une comète de la liste B (Comète 1825 II) .....                                                         | 98 |
| 33. Résultats relatifs à toutes les comètes de la liste B (conclusion) .....                                                                             | 99 |

---

Imprimé par R. BUSSIÈRE à Saint-Amand (Cher). France. — 29-11-1948.

Dépôt légal : 4<sup>e</sup> trimestre 1948. N° d'impression : 867.

# DEUXIÈME THÈSE

---

Propositions données par la Faculté

CONVERGENCE DES SÉRIES DE LA MÉCANIQUE CÉLESTE.

VU ET APPROUVÉ :

*Paris, le 6 Avril 1947.*

*Le Doyen de la Faculté des Sciences,*

J. CABANNES.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

*Le Recteur de l'Académie de Paris,*

G. ROUSSY.





